

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СВЯЗИ, ИНФОРМАТИЗАЦИИ И  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЕСПУБЛИКИ  
УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ**

*На правах рукописи*

*УДК 004.7/621.31*

**БЕКМУХАМЕДОВ ЖАМШИД УЛУГБЕКОВИЧ**

**Оптимизация параметров сети PLC для передачи мультимедийной  
информации**

5A330202 – Информационные и мультимедийные технологии

Диссертация на соискание академической степени магистра

Научный руководитель:

к.т.н., доцент

Варламова Л.П.

ТАШКЕНТ – 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>4</b>
<b>ГЛАВА I. ОБЗОР И ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ PLC .....</b>	<b>9</b>
1. Обзор технологии PLC и существующих технологий передачи данных. ....	9
2. Структура и функциональный состав сетей на основе PLC .....	14
ВВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ I .....	26
<b>ГЛАВА II. КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПО ЭЛЕКТРОСЕТЯМ И ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ.....</b>	<b>27</b>
1. Классификация технологий для передачи информации по электросетям и области их применения .....	27
2. Определение основных достоинств и недостатков применения технологии PLC.....	30
3. Проблема электромагнитной совместимости при построении сетей на основе PLC.....	32
4. Основные достоинства и недостатки применения технологии PLC .....	36
ВВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ II .....	41
<b>ГЛАВА III. ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО СИЛОВЫМ ЛИНИЯМ (PLC) ПРИ ВЛИЯНИИ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ ФАКТОРОВ .....</b>	<b>42</b>
1. Исследование качества передачи данных по локальным сетям, созданным в отдельном и в разных зданиях, удаленных друг от друга. ..	42
2. Анализ качества передачи данных по локальной сети PLC, созданной в здании ГУП «UNICON.UZ» при нормальных условиях эксплуатации .	49
3. Исследование влияния оборудования PLC на другие технические средства информационных технологий .....	58

4. Исследование влияния кондуктивных помех созданных оборудованием PLC на технические средства и оборудование информационных технологий .....	59
ВВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ III.....	61
<b>ГЛАВА IV. РЕКОМЕНДАЦИИ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ «PLC» В ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ. ....</b>	<b>62</b>
1. На основе полученных экспериментальных данных выбор оптимальных требований к параметрам оборудования PLC для реальных условий применения.....	62
2. Рекомендации по использованию технологии «PLC» в распределительных электрических сетях Республики Узбекистан .....	70
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>72</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>75</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>79</b>

## Введение

**Актуальность работы:** Преимуществом использования сетей электропитания является их широкая распространённость, что позволяет создавать компьютерные сети, практически на любом объекте любого региона, на основе технологии PLC. Кроме того, PLC может эффективно дополнять другие сетевые технологии, например, быть резервным каналом передачи информации.

Телекоммуникационные системы занимают важную роль в развитии современных информационных технологий. В области современных телекоммуникаций проблема "последней мили" остается одной из самых актуальных. От применяемых решений для построения сетей доступа во многом зависит успех бизнеса телекоммуникационных операторов, а также эффективное функционирование ведомственных и корпоративных сетей связи.

Несмотря на то что, волоконно-оптические линии связи обеспечивают передачу данных с большой скоростью, до массового пользователя они пока не доходят, находя широкое применение, как правило, в корпоративном секторе. На массовом рынке абонентского доступа сегодня наиболее востребованной считается технология xDSL, которая обеспечивает пользователям доступ к сети Интернет (Инtranет) и другим инфокоммуникационным услугам по существующим телефонным линиям. Определенную долю в этом сегменте занимают также такие технологии как широкополосный беспроводный радиодоступ (Wi-Fi, WiMAX и др.) и спутниковый доступ, доступ по сетям кабельного телевидения, пакетная передача данных в сетях сотовой связи 2.5G/3G (GPRS/EDGE/UMTS, CDMA 2000 1X/EV-DO).

Стоимость реализации технологий «последней мили» в зависимости от их типа можно разделить на стоимость линейной инфраструктуры (примерно 60 – 80 % общей стоимости), стоимость оборудования (20 – 30

%) и стоимость проектирования, подготовительных инжиниринговых работ, частотных присвоений и т. д. (10 – 20 %). Для снижения стоимости и скорости развертывания сетей логично использование существующей инфраструктуры телефонной, кабельного телевидения или распределительных электросетей.

Особую значимость эта проблема приобретает в свете слов Президента Узбекистана И.А.Каримова: «Особо следует отметить динамичное развитие услуг в сфере информационно-коммуникационных технологий, которые за последние четыре года в среднем увеличиваются ежегодно на 50 процентов»[2].

Повсеместная распространенность электрических сетей 0,2 - 0,4 kV, отсутствие необходимости проведения дорогостоящих работ, связанных с созданием траншей и колодцев, пробивкой стен и прокладкой кабелей, стимулируют исследование силовых сетей как альтернативной среды передачи данных и развитие еще одной технологии широкополосного доступа - по электросетям. Эта технология получила название PLC – PowerLine Communications.

PLC - это класс технологий связи, которые в качестве физической среды передачи информации используют существующие распределительные сети электропитания. PLC обладает большим потенциалом возможностей, которые пока не полностью реализованы.

Преимуществом использования сетей электропитания является их широкая распространённость, что позволяет создавать компьютерные сети, практически на любом объекте любого региона, на основе технологии PLC. Кроме того, PLC может эффективно дополнять другие сетевые технологии, например, быть резервным каналом передачи информации.

Идея передачи информации по проводам электропитания впервые появилась в патентах с 1920 года. Попытки реализации данной идеи начались в 1940 годах и продолжались вплоть до 1970 годов. В основном они были связаны с созданием аналоговых систем передачи звука или

видеоизображения. Также разрабатывались системы дистанционного управления устройствами для нужд телемеханики. Однако к концу 1970 года стало очевидно, что создание полноценных аналоговых систем передачи информации по системе электропитания невозможно. Технология PLC использовалась только энергетиками на высоковольтных ЛЭП для передачи служебной телеметрической информации на скоростях до 2,5 kbit/s.

В конце XX века активно проводились работы по созданию решений PLC на основе электрических сетей 0,2-0,4 kV. Было разработано оборудование PLC первого и второго поколений. Достигнутая предельная скорость передачи данных не превышала 10 - 14 Mbit/s. Реальная же скорость передачи данных в тестовых сетях PLC отличалась на порядок и составляла 1-2 Mbit/s. Кроме этого, абонентское оборудование PLC имело сравнительно высокую стоимость, для электролиний, "уплотненных" PLC, был характерен высокий уровень электромагнитных излучений.

Поэтому до недавнего времени технология PLC применялась для коммерческого предоставления телекоммуникационных услуг в ограниченном масштабе, будучи неконкурентоспособной по отношению к другим технологиям, и прежде всего xDSL. Однако последние достижения микроэлектроники, позволившие создать системы PLC третьего поколения, которые обеспечивают скорость передачи данных до 200 Mbit/s при использовании стандартных электролиний, открывают новые возможности для реализации широкополосного доступа. Это дает основания полагать, что "списывать" PLC как технологию для решения задачи "последней мили", пока преждевременно[4].

**Целью работы** является анализ существующих технологий передачи данных по распределительным электрическим сетям и ведущих производителей оборудования для построения сетей на основе PLC. Исследование структуры действующих сетей на основе PLC, функционального состава и принципов организации связи, действующие

сети передачи данных по низковольтным распределительным электрическим сетям. Исследование существующих методов подсоединения к низковольтным распределительным сетям электроснабжения бытовых и коммерческих потребителей. Анализ принципов распределения в системах низкого напряжения и выбора схемы распределения зависящих от размеров объектов электроснабжения. Исследование факторов обеспечивающих надежность и качество системы электроснабжения, которые играют немаловажную роль в функционировании оборудования PLC.

**Задачей исследования является:** исследование и определение понятия и свойств PLC и классификации его видов, определение основных достоинств и недостатков применения технологии PLC, функционирования в реальных условиях эксплуатации на основе технологии передачи данных по силовым линиям (PLC) при влиянии воздействующих факторов, на основе полученных данных при исследовании оборудования PLC, выработка оптимальных требований к параметрам для реальных условий применения.

**Объектом исследования являются:**

- силовые кабели, применяемые для построения низковольтных распределительных сетей электропитания;
- качественные показатели (отклонения и перепады напряжения, несимметрия напряжений и т.д.) действующей сети электропитания;
- качество передачи данных по действующей локальной сети PLC при нормальных условиях эксплуатации;
- качество передачи данных по локальной сети PLC при влиянии воздействующих факторов;
- качество передачи данных по локальным сетям, созданным в разных зданиях, удаленных друг от друга;
- влияние оборудования PLC на другие технические средства информационных технологий, подключенные к исследуемым сетям, а

также на работу средств связи, работающих в коротковолновом диапазоне частот.

**Методология и методы:** Исследования проведены в нормальных условиях эксплуатации, при различных воздействующих факторах и идеальных условиях передачи информации. Проведены исследования по обеспечению ЭМС.

Проведен анализ качественных показателей действующей сети электропитания и среды передачи.

**Основные результаты выполненных работ:** Разработка рекомендаций по использованию технологии «PLC» в распределительных сетях электропитания Республики Узбекистан. По результатам исследований опубликовано 3 работы [12-14]. Результаты работы были доложены на конференциях: 1. Республиканская научно-практическая конференция ТУИТ, 2013г; 2. Республиканская научно-практическая конференция ТУИТ, 2014г; 3. Региональная научно-практическая конференция молодых ученых и студентов города Ташкент и Ташкентской области под девизом «XXI век – век интеллектуального поколения». 2014г.

**Практическая значимость:** Полученные по результатам исследования сведения и данные могут быть использованы для разработки соответствующих стандартов, норм и рекомендаций.

**Магистерская диссертации состоит из:** введения, четырех глав, заключения, использованной литературы и приложения.



## Глава I. Обзор и описание технологии PLC

### 1. Обзор технологии PLC и существующих технологий передачи данных

PLC (PowerLineCommunication) — сравнительно новая телекоммуникационная технология, по сути, семейство технологий связи, основанных на использовании в качестве физической среды для высокоскоростного обмена информацией силовые электросети.. Достижения PLC-технологии обусловлены появлением соответствующей элементной базы, в т.ч. сигнальных процессоров, с использованием которых были реализованы сложные способы модуляции сигнала, что и позволило, в конечном счете, увеличить достоверность передачи информации. В качестве альтернативы PLC-технологии и электрическим проводам можно назвать технологию xDSL, беспроводный доступ (Wi-Fi), спутниковую связь и др., а также коаксиальные телевизионные и оптоволоконные кабели. При выборе технологии определяющую роль играет фактор экономический — средства связи должны быть недорогими и повсеместно доступными. Чтобы в полной мере оценить возможности и преимущества PLC-технологии, сначала ознакомимся с характеристиками и основными техническими параметрами существующих проводных (табл. 1) и беспроводных (табл. 2, 3) систем высокоскоростной передачи данных [4—6].

Таблица 1. Основные параметры проводных технологий

Наименование параметра	Технология					
	HFC	ADSL	VDSL	ADSL2 +	PLC	FTTH
Диапазон рабочих частот, МГц	5...1000, (6...8)	ДО 1,1		ДО 2,2	1...30	1000

(полоса частот/канал, МГц/канал)						
Пропускная способность, Мбит/с (расстояние, км)	США: 3...4, Канада: до 10, Великобритания: 1...8, Франция: до 100	1,5 (5,4)...1 2 (0,3)	13 (1,3)...5 2 (0,3)	7,5 (2,7)...2 6 (0,3)	200, пиковая, для узла сети: 2...4	1 Гбит/канал
Максимальное расстояние, км	100 (с использованием усилителей)	5,4	1,3	2,7	3 (10...50 кВ); 0,2 (0,22...0,38 кВ)	20
Параметры развертывания	Просто при наличии ТВ-кабеля. Большие затраты при создании новой сети	Просто при наличии точек подключения			Легко. Не требуется прокладка кабеля	Большие проблемы при прокладке кабеля
Преимущества	Можно использовать существующие сети кабельного ТВ	Возможность использования уже существующих точек подключения			Наличие разветвленной инфраструктуры	Очень широкий диапазон частот
Недостатки	Ограниченная пропускная способность. Асимметричность	Скорость передачи в большой степени зависит от расстояния. Асимметричность			Отсутствие единого стандарта	Большие затраты при создании сети

- *HFC (Hybrid Fiber Coaxial Cable — комбинированная оптокоаксиальная кабельная система). Используется в технологии широкополосного доступа к телекоммуникационным сетям.*
- *ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Line — асимметричная цифровая абонентская линия). Технология высокоскоростной передачи данных по обычным телефонным линиям. Канал связи*

асимметричен, т.е. скорость потока данных к абоненту больше, чем в обратном направлении.

- *VDSL (Very high bit-rate Digital Subscriber Line — высокоскоростная цифровая абонентская линия).*
- *ADSL2+ (ITU G.992.5). Улучшенный вариант ADSL.*
- *PLC (PowerLine Communication). Технология, основанная на использовании электросети в качестве физической среды для высокоскоростного обмена информацией.*
- *FTTH (Fiber To The Home — сеть с доведением оптического кабеля до пользователя). Технология использования волоконно-оптической связи в быту.*

Таблица 2. Основные параметры беспроводных технологий

Наименование параметра	Технология							
	Радиорелейные линии	LM DS	MM DS	FSO	WiFi	WiMAX	Спутниковая связь	3G
Диапазон рабочих частот, ГГц	2; 4; 6; 21,3...23,6; >40	28... 31	2,1 ...2,7	Инфракрасный диапазон (ТГц)	2,4; 5,7	2,11; 10-66	1,5...3,5; 3,7...6,4; 11,7...12,7; 17,3...17,8; 20... 30	1,92...1,98; 2,11...2,17
Пропускная способность, Мбит/с.	155		10	2500	2/11/ 54	70	155	2
Максимальное расстояние, км	5	4	100	4	0,1	50	1000...36000	Зависит от разветвленности сети
Параметры развертывания	Сложно. Работает только в зоне прямой видимости				Просто	Просто, следует	Просто, большие	Просто

ния		для LAN - сетей	учитыв ать NLOS	затраты	
-----	--	--------------------------	-----------------------	---------	--

- *LMDS (Local Multipoint Distribution Service — локальная многоточечная распределенная служба). Используется в системах беспроводной связи.*
- *MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service — многоканальная многоточечная распределенная служба).*
- *FSO (Free Space Optics). Технология связи в ИК-диапазоне в зоне прямой видимости.*
- *Wi-Fi (WirelessFidelity). Пакет стандартов беспроводной связи IEEE 802.11x.*
- *WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). Технология универсальной беспроводной связи на больших расстояниях для устройств разного класса. Используется как синоним стандарта IEEE 802.16a (802.16-2004).*
- *3G (Third-Generation). Системы цифровой мобильной связи третьего поколения.*
- *LAN (Local Area Network — локальная сеть).*
- *NLOS (Non Line-Of-Sight — вне зоны прямой видимости).*

*Под этим термином подразумеваются методы, обеспечивающие при определенных условиях прием данных вне зоны прямой видимости [5].*

**Таблица 3. Преимущества и недостатки беспроводных систем  
высокоскоростной передачи данных**

<b>Наименование</b>	<b>Преимущества</b>	<b>Недостатки</b>
Радиорелейные линии	Быстрый монтаж и установка	Связь в режиме точка-точка только в зоне прямой видимости, зависимость от погодных условий
LMDS	Многоточечная связь, большая пропускная способность	Связь в зоне прямой видимости, отсутствие стандарта
MMDS	Многоточечная связь, большое расстояние, поддержка NLOS	Низкая пропускная способность, отсутствие стандарта
FSO	Низкая стоимость монтажа, нелицензируемый диапазон частот	Связь в режиме точка-точка, большая зависимость от погодных условий (дождь, пыль, снег, туман, смог)
WiFi	Интернет-совместимый стандарт	Основное использование — сетевые приложения
WiMAX	Поддержка NLOS	Реальная скорость обмена данными — 2 Мбит/с, расстояние связи с использованием методов NLOS — 1...2 км
Спутниковая связь	Большая зона покрытия, возможность использования для большого числа приложений	Большие затраты, ограниченная пропускная способность для абонента
3G	Использование мобильных терминалов и существующей инфраструктуры ячеек сети	Дороговизна, ограниченное число приложений

Линии электропередачи как физическая среда совмещают преимущества как проводных, так и беспроводных средств передачи данных. Пользователям почти всегда доступен сравнительно быстрый и надежный канал связи, разветвленный по всему зданию. Поскольку передача данных осуществляется по проводам относительно небольшой

длины, задержки в линии небольшие, и при передаче видео- и аудиопотоков, а также при оказании интерактивных информационных услуг обмен данными происходит в режиме, близком к режиму реального времени [4]. Бесспорно, беспроводные сети имеют множество преимуществ. В отличие от электросетей, они не нуждаются в проводах и могут излучать широкополосный сигнал во всем пространстве здания. Однако связь через эфир менее стабильна и плохо защищена от помех. Кроме того, зачастую пропускная способность канала ограничена, поэтому в случае беспроводной сети редко удастся добиться одновременной передачи нескольких потоков (видео, аудио и данных) с хорошим качеством. Еще одна проблема — ограниченная зона покрытия, которая в большой степени зависит как от размеров, так и конфигурации помещения, а также от свойств строительных материалов, из которых возведено здание. Расширить зону покрытия в некоторых случаях можно с помощью дополнительной PLC-сети. PLC-технология наиболее конкурентоспособна среди проводных и беспроводных технологий для создания локальных компьютерных сетей (особенно домашних). Инфраструктуры проложенных электросетей достаточно для организации сети во всем здании, а высокая пропускная способность (до 200 Мбит/с) потенциально удовлетворяет требования современных мультимедийных приложений.

## **2 Структура и функциональный состав сетей на основе PLC**

*Архитектура взаимодействия.* В настоящее время существует несколько стандартных системных подходов к передаче информации по распределительным линиям электропитания. Различия между ними состоят прежде всего в ориентации на конкретный класс приложений, а также в методах и средствах обеспечения надежного информационного взаимодействия.

Важнейшие области применения средств связи на основе электрических сетей показаны на рисунке 1. Каждый класс приложений характеризуется специфическими требованиями к скорости и дальности передачи, методу доступа и другим показателям, определяющим качество передачи.

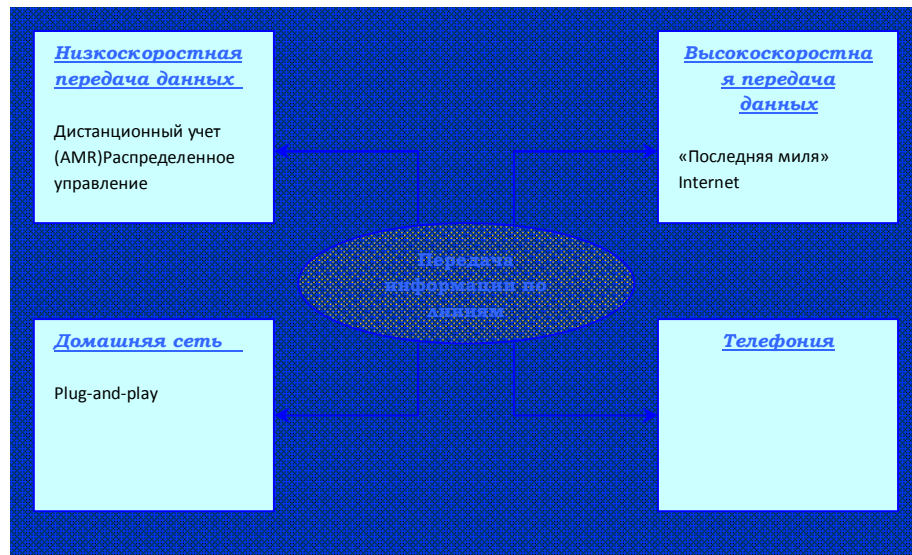


Рисунок 1 - Области применения технических средств связи на основе электрических сетей

К низкоскоростным распределенным системам управления и учета относятся системы автоматического управления в цехах и на производственных территориях, системы жизнеобеспечения зданий (лифты, кондиционеры, вентиляция), складские системы, средства учета энергопотребления, системы охранной и пожарной сигнализации в дачных поселках, гаражных кооперативах и т.д.

Другой класс приложений составляют средства домашней автоматизации, позволяющие комплексно управлять бытовыми приборами вплоть до автоматического согласованного включения кофеварок и тостеров, а также вывода на телеэкран изображения с входной видеокамеры при появлении нежданных гостей. Сюда же можно отнести локальные сети для домашних и малых офисов, развернутые в пределах небольшого здания или отдельной квартиры.

Несомненный интерес представляют примеры успешного использования электрических сетей для организации телефонной связи в поселках и на ограниченных территориях, а кроме того, для обеспечения высокоскоростного доступа в Internet. Прогресс в этой области может не только изменить расстановку сил на рынке Internet-провайдеров, но и вызвать к жизни новые принципы проектирования силовых электрических сетей и их оптимальной структуризации с учетом как энергетических, так и коммуникационных требований[6].

Архитектура информационного взаимодействия на основе электросетей имеет иерархическую структуру; в обобщенном виде она представлена на рисунке 2. Даже в рамках одной прикладной области конкретные ее реализации отличаются методами надежной доставки данных на различных уровнях иерархии.

Повышение надежности передачи на физическом уровне связано с выбором способа модуляции и частотного диапазона, с использованием методов цифровой обработки сигналов и адаптивного управления. Здесь в первую очередь следует отметить перспективность алгоритмов широкополосной (Spread Spectrum) модуляции, существенно повышающей помехоустойчивость передачи.

Прикладной уровень
Сетевой уровень
Канальный уровень
Управление логическим звеном
Управление доступом к среде
Физический уровень

Рисунок 2. Обобщенная модель протоколов для систем связи на основе сетей электропитания



При использовании SS-модуляции мощность сигнала распределяется в широкой полосе частот, и сигнал становится незаметным на фоне помех. На принимающей стороне значимая информация выделяется из шумоподобного сигнала с использованием уникальной для данного сигнала псевдослучайной кодовой последовательности. С помощью различных кодов можно осуществлять передачу сразу нескольких сообщений в одной широкой полосе частот. Описанный принцип лежит в основе метода множественного доступа с кодовым разделением каналов (CDMA). Технологии SS-модуляции и CDMA подробно рассмотрены в литературе (главным образом, на примерах использования в сотовых телефонных сетях). Здесь лишь отметим, что помимо помехоустойчивости SS-модуляция обеспечивает высокий уровень защиты информации. [6]

Основные способы повышения надежности передачи на канальном уровне следующие:

- разбиение пакетов данных на кадры небольшой длины;
- использование корректирующих кодов для выявления и исправления ошибок;
- применение низкоуровневых протоколов надежной передачи на основе подтверждений приема коротких кадров;
- использование эффективных методов управления доступом к среде передачи данных.

Короткие пакеты позволяют увеличить не только вероятность достоверной передачи порции данных, но и эффективность адаптации передающей стороны к быстро меняющимся характеристикам сети. При использовании широкополосной модуляции это выражается в оптимальном перераспределении мощности сигнала в полосе частот с учетом фактического спектра помех.

Некоторые фирмы разработали оптимизированные протоколы доступа к среде, учитывающие особенности «электросетевых» приложений и зашумленность линий питания. Поскольку значительная

часть таких приложений (автоматический учет, охранная сигнализация, домашняя автоматика) предполагает наличие в сети одного активного узла, для обеспечения доступа целесообразно использовать методы опроса или передачи маркера. Это снимает проблемы распознавания несущей в зашумленных сетях и необходимость выявления коллизий. В целях повышения надежности самого управления доступом используется принцип «трехкратного рукопожатия» при передаче маркера[6].

*Базовые компоненты.* Типовая функциональная схема и основные компоненты коммуникационного узла «электрической сети связи» представлены на рисунке 3.

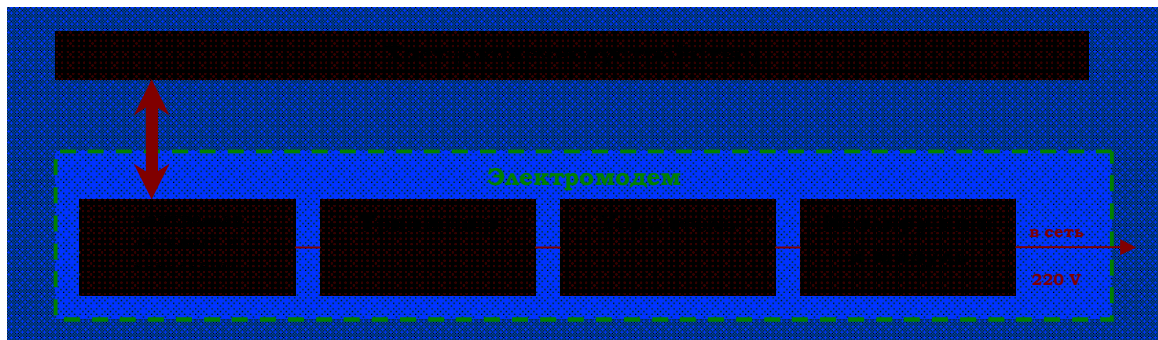


Рисунок 3 – Функциональная схема PLC модема (коммуникационного узла)

Ядром коммуникационного узла являются контроллеры сетевого, канального и физического уровней; последние часто называются также приемопередатчиками или трансиверами. Как правило, эти компоненты реализуются на базе универсальных специализированных микропроцессоров и выпускаются рядом фирм в виде наборов микросхем.

Изолирующий (соединительный) модуль в общем случае осуществляет две функции: изолирует аппаратуру коммуникационного узла от напряжения питания и выделяет информационный сигнал из силового напряжения. Обычно этот модуль выполняется из отдельных радиоэлектронных компонентов.

Некоторые фирмы изготавливают специальные микросхемы усилителей мощности, позволяющие передавать сигнал на большие расстояния. На основе этих компонентов может быть построен электромодем со стандартным или заказным интерфейсом пользователя.

Для обеспечения совместимости изделий различных производителей (в рамках одного класса приложений) предпринимаются усилия по стандартизации технологий передачи информации по распределительным линиям электропитания[6].

В спецификациях, где регламентируется функционирование соответствующей техники, выделяются поддиапазоны рабочих частот для различных задач: например, применительно к оборудованию сетей доступа определяются поддиапазоны для внешнего (уличного) сегмента и для использования внутри помещений.

Каждое принимающее устройство в системе имеет собственный адрес, а управление им осуществляется посредством сигналов, передаваемых поверх электрической сети и декодируемых в приемнике. Эти устройства могут быть съемными (подключаются к обычным электрическим розеткам) либо подсоединены к сети постоянно. В аппаратуре PLC в каждом рабочем диапазоне одновременно используется до трех независимых частот. Например, в модемах HomePlug первого поколения производства Ascom на каждой из таких частот скорость достигала 1,5 Mbit/s, а результирующая скорость канала в 4,5 Mbit/s была вполне достаточна для предоставления современных сервисов. Если на какой-то частоте связь была неустойчива из-за большого количества помех, то скорость менялась автоматически или вручную. В современных устройствах PLC второго поколения скорость передачи в канале достигает 200 Mbit/s.

Все оборудование PLC для развертывания домашней или офисной сети с выходом в Internet делится на три группы. К первой относится оборудование для организации последней мили. Мастер-устройство

устанавливается на входе в дом (на питающем кабеле) либо на трансформаторной подстанции - близко к корню дерева питания для достижения максимальной зоны охвата (расстояние между двумя точками не должно превышать 300 m для первого поколения модемов и 1,5 km - для второго). Организация "последней мили" считается завершенной после того, как оборудование PLC "последней мили" инжектируется в электросеть подключаемого объекта.

Каждое мастер-устройство способно поддерживать несколько десятков подчиненных (slave), при этом для организации древовидной структуры в качестве подчиненного устройства (повторителя) обычно используется такое же мастер-устройство. Канальная скорость современного оборудования PLC (200 Mbit/s) - это скорость на выходе головного мастер-устройства.

Вторую группу составляют устанавливаемые в помещении пользовательские адаптеры (модемы CPE). Модем имеет стандартные интерфейсы 100BaseT и USB для связи с компьютером и аналоговый выход для подключения телефонного аппарата (как правило, это штатный элемент модема CPE).

Для построения сети PLC с выходом в Internet в свою очередь нужны три компонента: адаптер PLC, мастер-устройство и интерфейс со шлюзом (Gateway), DSLAM или оптическим трансивером. Шлюз подключается к сети Ethernet (локальной/глобальной сети), и в итоге транспортной средой для мастер-устройства становится сеть Ethernet. В принципе, не имеет значения, какая среда используется при доведении Ethernet до мастер-устройства - медная, оптическая или беспроводная.

После подключения мастер-устройства к Ethernet на дереве питания реализуется шина Ethernet. Установив на шлюз управляющие программные средства (включая биллинг и мониторинг), провайдер домовой сети может управлять трафиком PLC и предлагать различные

тарифные планы. Таким образом, оборудование PLC - это системы операторского класса.

После подключения мастер-устройства на входе в здание все соседи, по крайней мере одного подъезда, окажутся на общей шине Ethernet. Для того чтобы подключиться к такой домовой сети, пользователю необходимо получить MAC-адрес у ее провайдера, который при помощи имеющихся средств разграничения доступа обеспечивает, кроме прочего, предотвращение монопольного занятия полосы частот для выхода в Internet одним из пользователей.

Третья группа - пассивное оборудование, позволяющее передавать информационные составляющие сигнала через трансформаторы и электросчетчики без съема тока. Данный класс устройств представлен фильтрами емкости и индуктивности. Это фильтры не только частот PLC, но и несущей частоты, поэтому на выходе устройств сигнал с частотой 50 Hz обладает лучшими характеристиками. Простые фильтры на границе локальной сети помогают устранять помехи за пределами сети.

Фильтры используются и для оптимизации топологии неудачных участков сети, создания путей обхода, сокращения маршрута. Например, в коридоре длиной 200 м, где проводка идет из конца в конец и обратно, голос требуется передать вдоль первых 100 м коридора, для чего применяется специальная витая пара, на которой установлены катушки индуктивности, защелкивающиеся с двух сторон на кабеле питания. Благодаря такому решению информационная составляющая будет передаваться только по первой половине электрического кабеля.

Поскольку технология PLC реализует физический и канальный уровни модели OSI, с точки зрения мониторинга, управления и безопасности сети PLC принципиально не отличаются от традиционных сетей передачи данных. Мониторинг и управление осуществляются на более высоких уровнях, с помощью стандартного протокола SNMP[7].

*Архитектура.* Клиентское оборудование подключается к сети, построенной на базе промышленного стандарта HomePlug, через модем, который отфильтровывает паразитную составляющую сетевого напряжения и выделяет полезный высокочастотный сигнал. Соединение со всеми расположенными рядом устройствами устанавливается автоматически благодаря встроенному в модем PLC-контроллеру. Сигнал по электрической сети поступает на компьютер пользователя, тоже оснащенный PLC-модемом, и через него получает выход в Интернет (рисунок 4) [8].

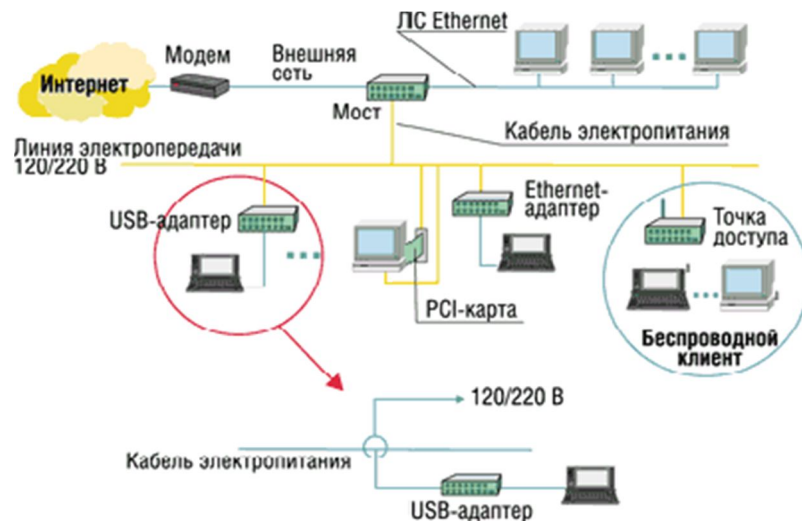


Рисунок 4 - Архитектура сети широкополосного доступа.

*Принцип организации связи.* Чрезвычайно разветвленная древовидная структура сети, высокий уровень шумов, импульсные помехи, возникающие из-за постоянных включений и выключений различных устройств, колебания нагрузки в сети в зависимости от времени суток требуют особых подходов к системам передачи.

Для передачи информации задействуется диапазон частот от 1 до 30 MHz.

На физическом уровне (Physical layer, 1 уровень OSI) применяются системы, реализующие принцип многочастотной модуляции, в большинстве случаев - OFDM (метод ортогонального частотного

уплотнения каналов). Для обработки сигналов используется быстрое преобразование Фурье (FFT) в масштабе реального времени. Реализация этих методов стала возможной благодаря созданию высокоскоростных цифровых сигнальных процессоров (DSP-процессоры).

На канальном уровне (DataLink, 2 уровень OSI) в основном применяется протокол доступа к среде (MAClayer) CSMA/CA (множественный доступ с детектированием несущей и предупреждением коллизий).

Высшие уровни семиуровневой эталонной коммуникационной модели «Взаимодействие открытых систем» OSI (Международная организация по стандартизации) аналогичны стандартным для информационных сетей.

Обобщенная схема организации связи на базе технологии PLC с использованием инфраструктуры электросетевой компании (линии электропередачи среднего напряжения 6 - 10 kV и низкого напряжения 0,2 - 0,4 kV) представлена на рисунке 5.

Основными потребителями услуг сетей PLC станут коммерческие фирмы, средние и высшие образовательные учреждения, медицинские учреждения и другие организации (юридические лица - 35 - 40 %), пользователи домашнего Интернета (физические лица - 60 - 65 %). Так как технология PLC находится на стыке двух отраслей - телекоммуникационной и электроэнергетики, то для успешного проведения проекта фирма - поставщик оборудования предварительно должна получить сертификат соответствия оборудования и согласование от энергетической компании.

При создании сети PLC требуется тщательное предварительное исследование объекта, высокий уровень квалификации исполнителей проектных, монтажных и пусконаладочных работ. Без серьезных подготовительных работ может оказаться, что в целом затраты окажутся

выше, даже если само оборудование дешевле и отдельная кабельная инфраструктура (или частотное планирование) не нужна.

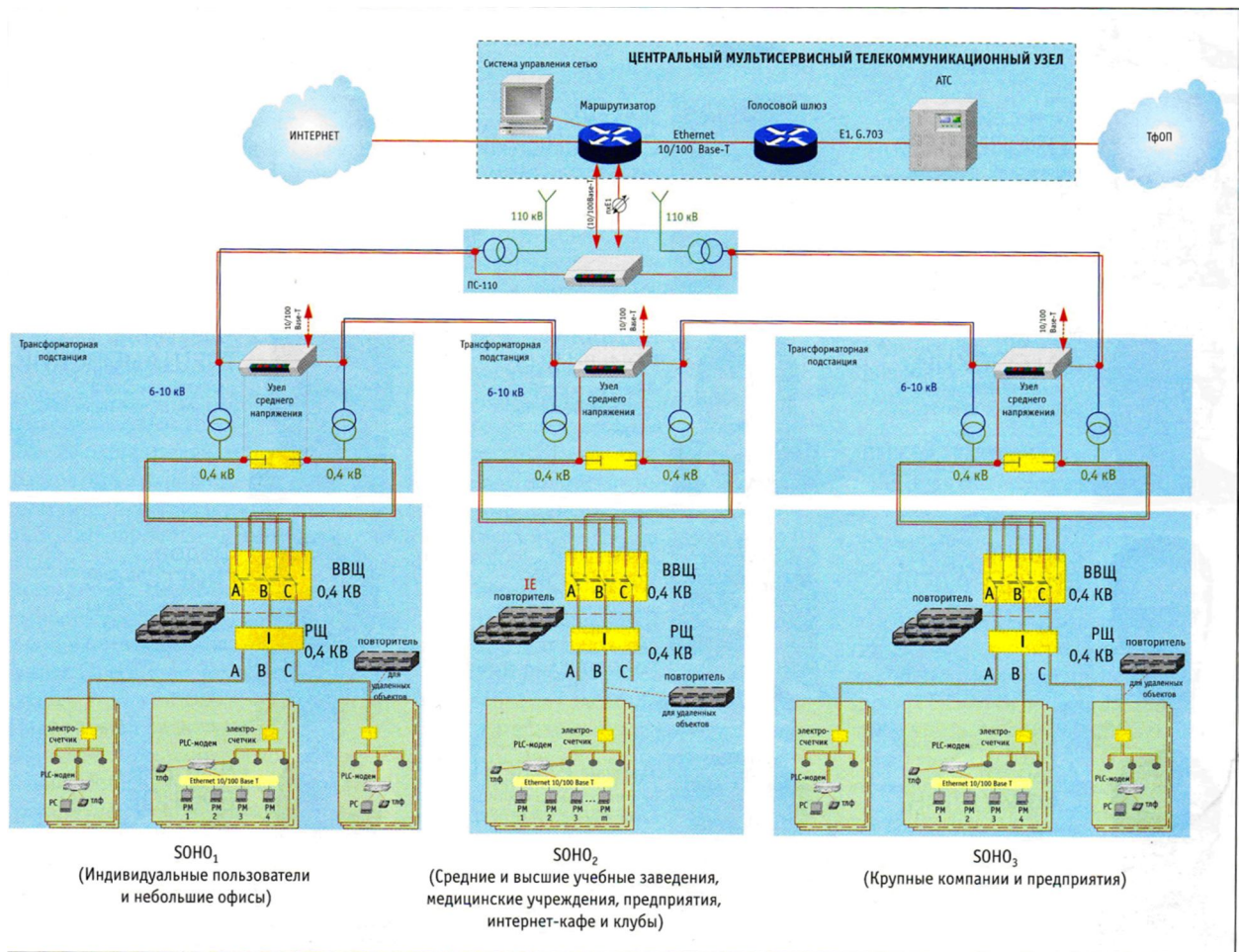


Рисунок 5 - Обобщенная схема организации связи на основе оборудования PLC

При планировании сети PLC важнейшая роль отводится тем, кому принадлежат электрические сети, поскольку только они могут принимать решение об установке оборудования. Владелец домовой электросети, как правило, является эксплуатирующей организацией или объединение собственников жилья. Провайдеры заключают с ними договор на использование электросети для передачи сигнала PLC, в рамках которого достигается соглашение о технической и технологической совместимости и сотрудничестве.



Внедрение PLC-технологий для домашних сетей на базе энергетической и телекоммуникационной структур позволяет решить проблему абонентского подключения достаточно недорогим и быстрым способом благодаря отсутствию затрат на создание линейной инфраструктуры [9].

## Вывод по Главе I

В последнее время сетевые технологии стремительно развиваются. Основная ставка делается на увеличение скорости и пропускной способности, одновременно нельзя забывать и об экономичности. Ведь прокладка десятков километров оптоволокна – чрезвычайно дорого. Следовательно, исследуются способы создания средств информационного обмена, которые будут достаточно дешевыми и доступными повсеместно. Этим критериям как нельзя лучше отвечают сети электропередачи. Преимущество их неоспоримо, ведь они доходят практически до каждого помещения в любой стране мира, их инфраструктура является едва ли не самой развитой.

Учитывая динамику развития рынка, можно ожидать, что широкополосные технологии PLC могут найти широкое применение в самых различных отраслях - от телеметрии ресурсов коммунальных сетей до многофункциональных интеллектуальных систем отдельных зданий и помещений по предоставлению широкого спектра услуг передачи данных.

Широкое распространение низковольтных электрических сетей 220/380 V, отсутствие необходимости проведения дорогостоящих работ по строительству траншей и пробивке стен для прокладки кабелей стимулируют повышенный интерес к этим сетям как к среде передачи данных. Потенциальные преимущества передачи данных по проводам электросети огромны. Фактически сеть может быть развернута на любом участке, на котором имеются линии электропитания.

Применение современных методов обработки сигналов и кодирования данных, которые давно и успешно используются в широкополосных беспроводных и проводных технологиях (xDSL, WiMax, Wi-Fi, мобильной связи и т.д.) позволило достичь в PLC технологии высокой скорости (до 200 Mbit/s) и достоверности передачи данных.

## Глава II. Классификация технологий для передачи информации по электросетям и области их применения

### 1. Классификация технологий для передачи информации по электросетям и области их применения

Существует несколько вариантов классификации PLC-систем. В-первых, технологии передачи данных по электросетям принято разделять на широкополосные (Broad band over Power Lines) и узкополосные (Narrow band over Power Lines). Широкополосные системы (со скоростью 1-200 Mbit/s) ориентированы на системы высокоскоростного доступа к интернету, на создание домашних компьютерных сетей, а также на приложения, требующие высокоскоростного обмена данными: потоковое видео, системы видеоконференцсвязи, цифровой телефонии и т.д. Узкополосные (низкоскоростные) системы ориентированы на использование в средствах домашней автоматике, в управлении простейшими бытовыми приборами и т.д. В этом случае достаточно значительно меньшей пропускной способности канала (0,1-100 kbit/s). Для конечного пользователя более близка классификация по назначению, по сути, по области применения. Классификация PLC технологий представлена на рисунке 6.

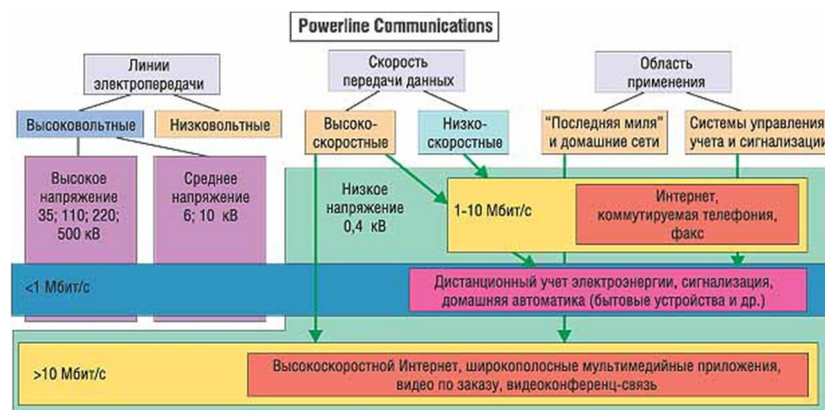


Рисунок 6 - Классификация используемых линий электропередачи по областям применения

PLC технологии открывают энергетическим компаниям прямой путь на новые рынки, так как превращают линии электропередачи в сеть передачи данных.

Энергетические и муниципальные компании, используя PLC технологии для домашних сетей, имеют возможность постоянного дистанционного мониторинга всех характеристик и параметров потребления электроэнергии, воды, газа, тепла, транзакций по оплате любых видов услуг.

PLC технологии для домашних сетей способны с высокой эффективностью (набор и качество услуг при минимальной стоимости) решить задачу реализации концепции «интеллектуального дома», что позволяет говорить о предоставлении не только мультимедийных услуг с применением PLC технологий, но и целого ряда услуг по дистанционному мониторингу, охране жилища, управлению его режимами, ресурсами и т.д.

К настоящему времени ведущими производителями PLC оборудования разработаны устройства для высокоскоростной передачи данных (до 200 Mbit/s) не только по сетям низкого напряжения 0,2 - 0,4 kV, но и по линиям электропередачи среднего напряжения (6 - 10 kV) между трансформаторными подстанциями, что позволяет организовать единую сеть в пределах одного микрорайона (зоне обслуживания одной понижающей станции 110 kV/(6 – 10) kV. Это обеспечивает возможность организации доставки телекоммуникационных услуг в каждый дом и каждую квартиру в целом микрорайоне (рисунок 7).

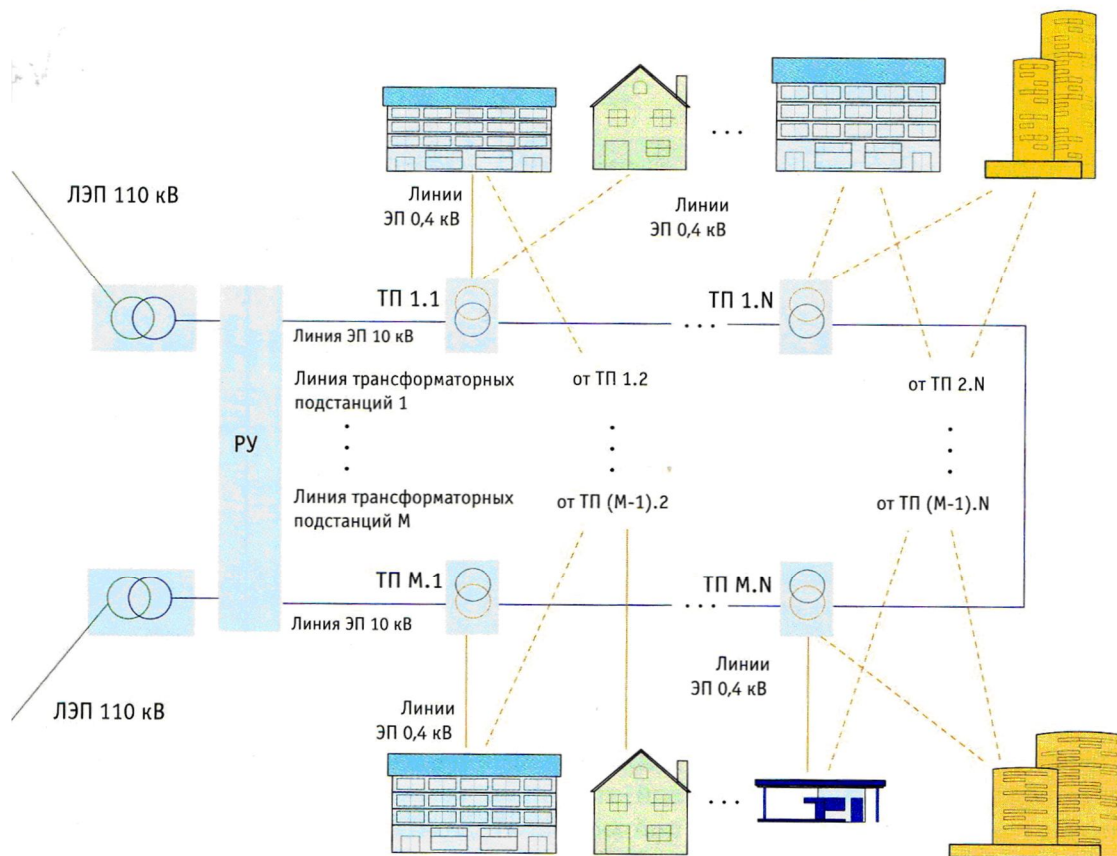


Рисунок 7 – Построение распределительной сети электроснабжения 10/0,4 kV

Электрическая сеть - идеальная среда передачи управляющих сигналов между бытовыми приборами, работающими от сети 110/220 V. Встроенные в различные приборы специализированные микросхемы могут обеспечить возможность приема/передачи данных через электросеть, а также обмен данными через Интернет, что стимулирует появление новых бытовых приборов: Интернет-пылесоса, Интернет-холодильника, Интернет-стиральной машины и т.д. Можно также организовать передачу данных датчиков охранной сигнализации, аудиоданных, расширить и продлить телефонные линии и т.д [3].

PLC технология может найти применение:

- в распределенных системах управления и учета в цехах;
- в системах жизнеобеспечения зданий (лифтах, системах кондиционирования и вентиляции и т.д.);

- системах складского хранения;
- средствах учета потребления электроэнергии, воды, газа, тепла;
- системах охранной и пожарной сигнализации в дачных поселках, гаражных кооперативах и т.д.

Фактически информационную сеть можно развернуть на любом участке, где уже имеются линии электропитания. PLC технология может успешно использоваться в средствах домашней автоматике для управления бытовыми приборами.

PLC технология подходит как для низкоскоростной передачи данных (домашняя автоматика, бытовые устройства и т.п.) и доступа в Интернет со скоростью менее 1 Mbit/s, так и для приложений, требующих высокоскоростного соединения: видео по запросу, видеоконференц-связи и т.п [3].

## 2. Определение основных достоинств и недостатков применения технологии PLC

Сравнительные характеристики широкополосных технологий передачи данных и области их применения приведены на рисунке 8 в таблицах 1-4 [3].

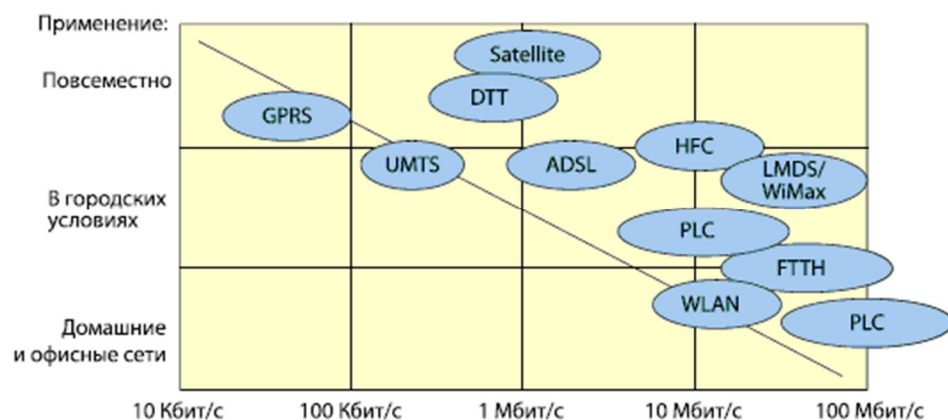


Рисунок 8 - Сравнительные характеристики высокоскоростных технологий передачи данных

Чтобы по достоинству оценить возможности и преимущества PLC технологий и растущий к ним интерес, в таблице 4 даны сравнительные характеристики технологий высокоскоростной передачи данных.

Таблица 4 - Сравнительные характеристики проводных и беспроводных технологий

Технология	Стандарт	Тип трафика (физическая среда передачи)	Топология	Терминал	Расстояние, km
Беспроводные					
Спутниковая связь	DVB, ETSI	асимметричный	многоочечная	стационарный/мобильный	в зоне прямой видимости
UMTS	3GPP	симметричный		мобильный	0,05...3
WLAN	IEEE802.11, ETSI				0,05...0,15
DTT	DVB, ETSI			стационарный	32
LMDS/WiMax	IEEE802.16, ETSI				в зоне прямой видимости 3 (F =26 GHz), 8 (F = 3,5 GHz)
Проводные					
HFC	DOCSIS, DVB	асимметричный (оптоволоконно/коаксиальный кабель)	многоочечная	стационарный	40
FTTx	FSAN, ITU-T	симметричный (оптоволоконно/медная витая пара)	точка-точка/ многоочечная		20
xDSL	ITU-T, ETSI	асимметричный (витая пара)	точка-точка		0,3-6,0
PLC	PLC-	симметричный	многооточечная		0,2 (220-380 V)

	Forum, CENEL EC, ETSI, IEEE	(электросети среднего и низкого напряжения)	очечна я		
EFM	IEEE80 2.3ah	симметричный (витая пара/оптоволокно)	точка- точка/ много очечна я		0,75-2,7

Совместное использование технологии PLC с другими широкополосными технологиями передачи данных, например PLC + WiMAX, PLC + WLAN, PLC + xDSL, PLC + Satellite, PLC + UMTS может вызвать особый интерес при создании новых сетевых решений [3-5].

### **3. Проблема электромагнитной совместимости при построении сетей на основе PLC**

Первоначально все усилия по созданию систем PLC были направлены на решение проблемы «последней мили». Считалось, что новая технология составит достойную конкуренцию технологии xDSL и кабельным модемам. Однако в процессе разработки реального оборудования возник целый ряд технических и нормативно-правовых препятствий. Самые серьезные из них - борьба с помехами и строгое соблюдение требований электромагнитной совместимости (ЭМС), в т.ч. с радиолобительскими службами.

Тогда как сигналы, передаваемые PLC системой, представляют собой специальные сигналы внутри системы, для другого оборудования, подключенного к соответствующей энергосети, эти сигналы являются



компонентами напряжения питания помимо первичного переменного напряжения 50 Hz.

В узкополосных PLC системах сигнал, по сути, передается по проводникам. В широкополосных PLC системах, использующих более высокие частоты, с увеличением частоты передача сигнала выливается в растущее излучение непреднамеренного характера. Результирующая волна распространяется по земле, в космосе и атмосфере. Должен быть рассмотрен совокупный эффект сил поля, происходящих из разных энергосетей. Это касается сил поля, вызванного всеми PLC-пользователями, активными в различных энергосетях в одно и то же время.

В связи с ионосферными процессами (отражением от ионосферы в зависимости от времени года, суток и погодных условий) на больших расстояниях (больше 1000 km) необходимо учитывать эффект накопления сил поля, исходящего из одной крупной области.

На сегодняшний день отсутствует единый стандарт, устанавливающий требования к ЭМС оборудования PLC, поэтому в каждой стране существуют свои нормативные документы.

Сегодня в Европе для сетей связи, использующих линии электропередачи в диапазоне до 150 MHz, действует стандарт CENELEC [12], устанавливающий требования по электромагнитной совместимости (ЭМС) и помехозащищенности (таблица 5). Однако международные стандарты, регламентирующие широкополосный доступ по электросети в диапазоне частот 1,6-30 MHz, где требуется обеспечить ЭМС с радиоловительскими службами, отсутствуют. В связи с этим все страны вынуждены руководствоваться своими национальными нормами: в США это FCC часть 15 [13], в Германии - NB30 [15], в Великобритании - MPT1570 [14]. Наиболее мягкие нормы установлены в США, которые не адаптированы к распределению естественных помех, возникающих в каналах связи. В отличие от США, в европейских странах требования к максимально допустимому уровню излучения зависят от диапазона частот.

Таблица 5 - Требования стандарта CENELEC в полосе частот от 3 до 148,5 kHz

Диапазон	Поддиапазон, kHz	Максимальный уровень передачи, dB $\mu$ V	Назначение
-	3-9	Не нормируется	Для энергетических компаний
A	9-95	134-122	Общего пользования
B	95-125	116	Общего пользования
C	125-140	116	Общего пользования (CSMA протокол)
D	140-148.5	116	Общего пользования

Германия стала одной из первых стран, где весной 2001 г. (спустя два года после их разработки и ожесточенных споров) были одобрены нормы допустимого уровня излучения для всех видов проводных технологий (включая CATV, xDSL и PLC), которые используют диапазон частот от 9 kHz до 3 GHz (таблица 6). Хотя нормы NB30 на 30 dB ниже, чем FCC часть 15 в США, однако и их требования не позволяют создавать сети PLC той протяженности, которая достаточна для организации доступа в Интернет, так что реализовать доступ в Интернет без установки промежуточных ретрансляторов практически невозможно.

Таблица 6 - Требования нормы NB30 на допустимый уровень напряженности поля для диапазона частот от 9 kHz до 3 GHz, измеренный на расстоянии 3 m

Диапазон частот, MHz	Напряженность поля, dB $\mu$ V/m	Расстояние измерения	Полоса пропускания измерительного фильтра
От 0,009 до 1	40 - 20 lg (f/MHz)	3 m	200 Hz
От 1 до 30	40 - 8,8 lg (f/MHz)	3 m	9kHz
От 30 до 1000	27	3 m	9kHz
От 1000 до 3000	40	3 m	9kHz

Вслед за Германией и в ряде других стран Европы были приняты аналогичные требования к допустимому уровню излучения. В Великобритании с августа 2001 г. действуют нормы MPT1570, по своим требованиям практически совпадающие с NB30, но охватывающие более узкий диапазон частот: от 9 kHz до 1,6 GHz. В Ирландии и Норвегии тоже установлены уровни допустимого излучения, причем на 20 dB выше, чем по NB30. Но в Дании вообще отказались от введения общих норм и решают вопрос о допустимом уровне излучения в каждом конкретном случае с учетом интересов всех радиослужб.

Сравнительный график норм на уровни излучений от оборудования PLC, измеренный на расстоянии 3 m и установленные документами NB30, MPT1570 и FCC часть 15 приведен на рисунке 9 [16].

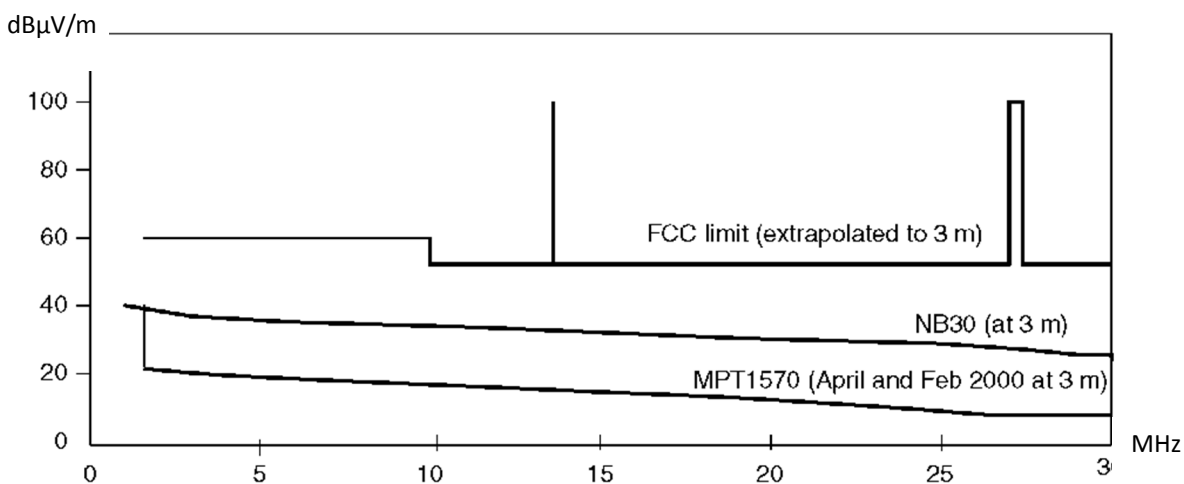


Рисунок 9 - Сравнительный график норм на уровни излучений

Для развертывания сетей PLC в Узбекистане и обеспечения их электромагнитной совместимости с другими радиослужбами необходимо разработать государственные стандарты, устанавливающие нормы на кондуктивные и излучаемые уровни помех от оборудования PLC и создать правовую основу применения этой технологии на распределительных сетях электропитания Узбекистана.

#### 4. Основные достоинства и недостатки применения технологии PLC

*Недостатки применения технологии PLC на распределительных сетях электропитания РУз.* Электропроводка - не простая среда для передачи данных, поскольку ее качественные показатели подвержены флуктуациям. За последние годы производителям оборудования удалось найти способы преодоления большинства барьеров на пути передачи цифровых данных по бытовой электросети.

Одна из основных проблем связана с большим затуханием сигналов на определенных частотах, что ведет к потере данных. Чтобы избежать этого, применяемый метод предусматривает динамическое включение и выключение передачи сигнала (dynamically turning off and on data-carrying signals). Устройство PLC осуществляет постоянный мониторинг канала передачи с целью выявления проблемного участка спектра, на котором превышен порог затухания. При его обнаружении использование соответствующих частот прекращается до восстановления нормального значения затухания. Так удается обеспечить электромагнитную совместимость и избежать взаимного влияния между основными источниками сигнала.

Решение проблемы помехоустойчивости стало возможным с появлением цифровых сигнальных процессоров DSP, позволивших, в частности, реализовать метод мультиплексирования с ортогональным разделением частот OFDM. Он взят на вооружение практически всеми производителями PLC. Суть его в том, что основной сигнал разбивается на несколько составляющих, каждая передается на собственной частоте с компенсацией помех. На выходе из этих составляющих формируется суммарный результирующий сигнал.

В бытовой электросети большое влияние на передачу сигнала оказывают краткосрочные импульсные помехи (до 1  $\mu$ s), источниками которых могут служить пусковые токи мощных бытовых электроприборов

с электрическими двигателями (лампы дневного света, микроволновые печи, электродрели, компрессоры холодильников). Достоинство технологии PLC заключается в том, что при разрыве соединения вследствие помех его можно быстро восстановить. Впрочем, сеть PLC и сама может влиять на работу бытовых устройств (радиоприемников и телевизоров), однако лишь в том случае, если они располагаются на расстоянии менее 30–40 м от электропроводки.

В нашей стране внедрению технологии PLC препятствует и использование алюминия в качестве материала проводящей среды, а также неоднородность среды передачи (например, скрутка «алюминий–медь»). Алюминий обладает худшей по сравнению с медью электропроводностью в результате затухание сигнала довольно велико.

Отечественные линии электропередачи отличаются высоким уровнем шумов, быстрым затуханием высокочастотного сигнала, с помощью которого осуществляется передача данных, а также изменениями ее параметров во времени. Развертыванию сетей PLC зачастую препятствует физический износ электропроводящей среды в эксплуатируемых зданиях: на искрящей проводке непросто добиться приемлемых скоростей. Индивидуальная скорость подключения абонента по сети PLC иногда не превышает 100 kbit/s, а причиной тому могут стать плохие контакты, оголенные провода, незатянутые винты - все это вносит дополнительные помехи для сигнала PLC. Поэтому до запуска сети PLC в коммерческую эксплуатацию желательно протестировать ее в реальных условиях.

Сложность организации связи по линиям электросети заключается в том, что существующие электросети изначально не предназначались для передачи данных. Они отличаются высоким уровнем помех и большим затуханием высокочастотного сигнала, а также тем, что параметры линии, зачастую постоянные для традиционных физических сред передачи

данных, существенно изменяются во времени в зависимости от текущей нагрузки.

Проложенные в большинстве случаев с нарушениями норм неэкранированные, разделенные трансформаторами, с большими помехами, возникающими в результате работы многочисленных энергопотребителей, силовые линии электрической сети относятся к одной из наихудших сред для надежной передачи данных. Еще одна проблема — низкое качество и изношенность электропроводки в многоквартирных домах старой постройки. До недавнего времени в этих зданиях использовались алюминиевые провода, которые обладают меньшей электропроводностью по сравнению с медными. Кроме того, скрутки проводов, которые часто имеются в домашней проводке, также негативно влияют на прохождение сигнала. Поэтому к технологии PLC лучше приспособлены здания новой постройки, в которых зачастую применяются медные провода и современные технологии их соединения и подключения.

На достоверность передачи данных очень большое влияние оказывают помехи от различных электроприборов, ламп дневного освещения и т.д., создающих помехи в проводах. Наиболее сильно влияние импульсных помех, возникающих при работе электродвигателей, сварочного оборудования и СВЧ-печей. Однако надежные методы кодирования и шифрования данных, применяемые в современных PLC технологиях, обеспечивают не только высокий уровень достоверности при передаче информации, но и ее защиту от несанкционированного доступа. Кроме того, при организации связи должна быть обеспечена электромагнитная совместимость, т.е. необходимо снижать побочные электромагнитные излучения, возникающие в процессе передачи данных.

На реальных объектах сочетание нескольких неблагоприятных факторов может сделать развертывание PLC невыгодным или принципиально невозможным, поэтому перед развертыванием сети всегда необходимо собирать максимальное количество информации, включая план

электросети, тип кабельной проводки, схемы щитов и автоматов, и что особенно важно, сверить полученную информацию с реальностью.

*Особенности электрических сетей.* Линии электропередач обладают следующими отличительными особенностями:

- высокий уровень шумов и быстрое затухание высокочастотного сигнала;
- нестабильность линии связи.

Коммуникационные параметры линий (затухание сигнала, частотные и фазовые искажения и другие) меняются во времени в зависимости от уровня и характера текущего энергопотребления. Это особенно важно учитывать в Узбекистане, для которых характерны как частые перебои в энергоснабжении, так и значительные колебания показателей качества передаваемой электроэнергии.

*Достоинства.* Технологии PLC обладают следующими преимуществами:

- не требуется дорогостоящих работ, связанных с прокладкой дополнительного кабеля, а также частотного ресурса;
- обеспечивается быстрое развертывание и поэтапное наращивание по мере необходимости;
- простое и быстрое предоставление телекоммуникационных услуг (Интернет, телефония, видео и др.);
- простота объединения устройств в единую сеть;
- легкость расширения и возможность централизованного управления;
- возможность быстрого и недорогого развертывания сети передачи данных в офисах, образовательных учреждениях, конференц-залах и т.д.;

- предоставление энергетических услуг и услуг по управлению интеллектуальным домом» (автоматическое снятие показаний различных счетчиков, дистанционный мониторинг, сигнализация, биллинг и др.);
- возможность комплексного предоставления энергетических и телекоммуникационных услуг одним поставщиком.

*Недостатки.* Разумеется, не все так гладко обстоит с применением PLC-технологии. Во-первых, сети электропитания не приспособлены под передачу данных и ведут себя как НЧ-фильтры. Моделирование каналов связи по таким линиям осложнено зашумленной средой передачи, частотной избирательностью каналов, нестационарностью, флуктуационным шумом и импульсными помехами. Для сохранения целостности сигнала по линиям электропередачи требуются надежные технологии передачи данных и оборудование.

Во-вторых, структура сети электропитания в разных странах разная. То же самое относится и к проводке внутри дома. Не существует универсального стандарта ни для PLC-связи, ни для энергосетей. Необходимо предпринять меры по обеспечению совместимости разных устройств.

В-третьих, при отправке информации личного характера по сетям электропередачи требуется обеспечить ее защищенность. Наконец, PLC-связь испытывает конкуренцию со стороны других средств связи — проводной и беспроводной. Выбор наиболее предпочтительной технологии делается исходя из нескольких критериев — стоимости, сложности системы и ее реализуемости. В настоящее время главными конкурентами узкополосной PLC-связи являются технологии Zigbee, Wi-Fi, GPRS и RS-232 [17, 18].



## Вывод по Главе II

Несмотря на оптимистичные результаты работы экспериментальных PLC-сетей за рубежом, подобная технология в нашей стране, вероятно, столкнется с рядом трудностей. Технические параметры электросетей Узбекистана отличаются от сетей в Европе и США, тем что наша электрораспределительная сеть имеет провода в основном из алюминия, а не из меди, которая используется в большинстве стран мира. Алюминиевые провода обладают худшими электрическими и механическими качествами, худшая электропроводность и большая хрупкость алюминия по сравнению с медью приведёт к большему затуханию сигнала. Это обязательно негативно скажется при использовании PLC технологии в РУз. Другая проблема заключается в том, что у нас не решены вопросы нормативно-правового регулирования использования PLC-технологий. Необходимо признать, что эта технология имеет большой потенциал, и вероятно, будет далее развиваться, ТАК КАК ее использование во многих приложениях имеет следующие преимущества:

- высокая пропускная способность (до 200 Mbit/s);
- простота использования;
- доступность точек подключения;
- надежность;
- низкая стоимость.

Объектом исследования данной главы является проведение анализа существующих технологий передачи данных по распределительным электрическим сетям и ведущих производителей оборудования для построения сетей на основе PLC. Исследование структуры действующих сетей на основе PLC, функционального состава и принципов организации связи.

### **Глава III. Исследование функционирования в реальных условиях эксплуатации оборудования на основе технологии передачи данных по силовым линиям (PLC) при влиянии воздействующих факторов**

#### **1. Исследование качества передачи данных по локальным сетям, созданным в отдельном и в разных зданиях, удаленных друг от друга**

*Построение сети передачи данных по низковольтным силовым линиям на базе оборудования PLC для проведения исследований.* Компьютеры подключаются к сети, построенной на базе Оборудования промышленного стандарта HomePlugAV производства компании «Mattron Corp.», через slave модемы, которые отфильтровывают паразитную составляющую сетевого напряжения и выделяют полезный высокочастотный сигнал. Соединение со всеми компьютерами через модемы устанавливается автоматически благодаря встроенному в модем PLC-контроллеру. Сигнал по электрической сети поступает на компьютер пользователя. Выход в Интернет и в локальную сеть организации осуществляется через мастер модем, выполняющий роль шлюза. Каждый мастер модем поддерживает до четырех slave модемов образуя таким образом группу модемов. Соединение между модемами разных групп осуществляется через HUB. Питание устройств (компьютеры, принтеры, и т.д.) подключенных непосредственно рядом с модемами осуществляется через режекторные полосовые фильтры с полосой режекции 2-30 MHz. Применение фильтров уменьшает влияние PLC модемов на устройства пользователя и наоборот, а также влияние на результаты исследования. Критерием качества функционирования сети является скорость передачи между компьютерами подключенными к модемам PLC измеренная с помощью анализатора IP подключенного к данной PLC сети. Связь между устройствами устанавливается как в пределах одной группы мастер

модема так и между разными группами, при воздействии и в отсутствии воздействующих факторов различного характера (радиопомехи, изменение напряжения электропитания и т.д.)

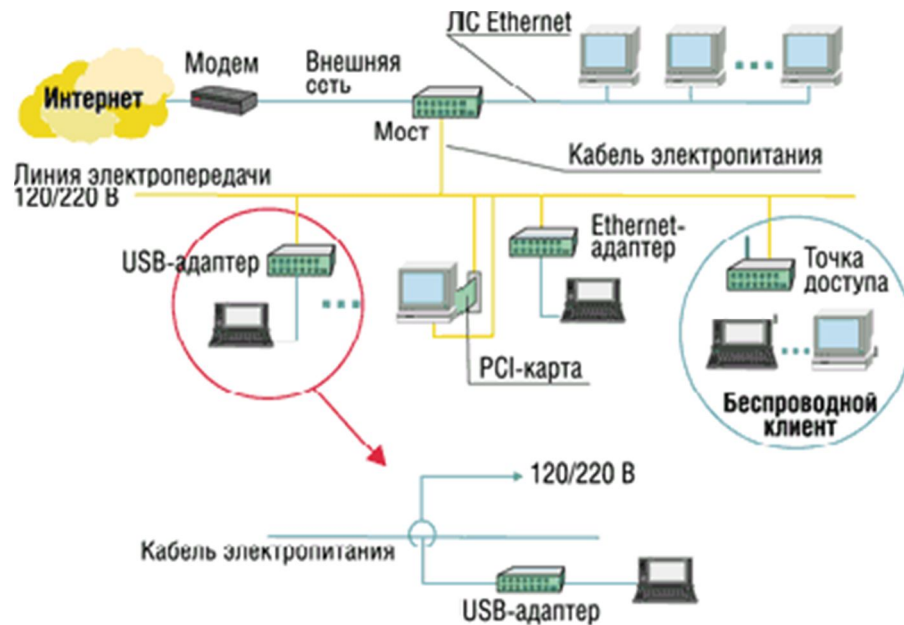


Рисунок 10 - Архитектура сети широкополосного доступа

*Технические характеристики использованных средств и условия для проведения измерений.* При проведении исследований в рамках магистерской диссертации были использованы следующие средства:

1) Мастер модем серии MTR-MM и MTR-MS со следующими характеристиками:

- максимальная скорость передачи данных 200 Mbit/s;
- диапазон частот 2-28 MHz;
- потребляемая мощность 4W;
- напряжение электропитания от 110 до 220 V.

2) Slave модем серии MTR-MM и MTR-MS со следующими характеристиками:

- максимальная скорость передачи данных 200 Mbit/s;
- диапазон частот 2-28 MHz;
- потребляемая мощность 4W;
- напряжение электропитания от 110 до 220 V.

3) Однофазный блокирующий сетевой фильтр BF-S30H с подавлением помех со следующими характеристиками:

- диапазон частот подавляемых помех от 1.7 до 30 MHz;
- подавление уровня сигнала помех в диапазоне частот от 1.7 до 30 MHz не менее  $50 \pm 5$  dB.

4) Однофазный ответвитель MTR-PCUco следующими характеристиками:

- диапазон частот – от 90 kHz до 40 MHz;
- вносимое затухание сигнала – минус  $2 \pm 1$  dB.

5) Анализатор протоколов IP DA-3400.

6) Селективный микровольтметр ESCI в комплекте с V-образным эквивалентом сети ENV216 и токовыми клещами EZ-17, со следующими характеристиками:

- диапазон частот - от 9 kHz до 3 GHz;
- диапазон измеряемого уровня сигнала от 0 до 30 dB $\mu$ V;
- погрешность измерения уровня сигнала – 0,5 dB.

7) Генератор импульсных помех UCS 500N4 со следующими характеристиками:

- генерация помех для проведения испытаний по электромагнитной совместимости на соответствие требованиям по устойчивости согласно МЭК-61000-4-4 и МЭК-61000-4-5.

8) Лабораторный автотрансформатор «ЛАТР» с регулировкой выходного переменного напряжения от 0 до 250 V.

9) Универсальный радиоизмерительный комплекс Stabilock 4032 со следующими характеристиками:

- диапазон частот от 2 до 2300 MHz;
- диапазон измерения мощности: от 1 mW до 125 W с погрешностью  $\pm 10$  %;
- стабильность частоты эталонного генератора: менее  $\pm 5 \times 10^{-7}$ ;
- чувствительность: 2  $\mu$ V;

- диапазон частот осциллографа: 3 kHz - 20 kHz;
- диапазон измерения уровня сигнала осциллографом: от 2 mV/div до 10 V/div с погрешностью менее 10 %  $\pm 0,2$  div.

10) Анализатор сигналов FSQ40 со следующими характеристиками:

- Диапазон частот: от 20 Hz до 40 GHz;
- погрешность измерения уровня сигнала – 0.3 dB;
- динамический диапазон - 100 dB;
- векторный анализ сигналов;
- измерения цифровой демодуляции QPSK, QAM;
- фазовый шум типично - 123 dBc

11) Безэховая камера «БЭК» со следующими характеристиками:

- для проведения испытаний оборудования на электромагнитную совместимость в диапазоне частот от 26 МГц до 18 GHz с эффективностью экранирования не менее:

- 60 dB на частоте 10 kHz для магнитного поля;
- 70 dB на частоте 100 kHz для магнитного поля;
- 80 dB на частоте 1 MHz для магнитного поля;
- 100 dB на частоте 100 MHz для плоской волны;
- 100 dB на частоте 400 MHz для плоской волны;
- 80 dB на частоте 1 GHz для плоской волны;
- от 80 dB до 60 dB в диапазоне частот от 1 GHz до 18 GHz для микроволн.

12) Персональные компьютеры с установленными ПО от компании «Matron».

11) Цифровой мультиметр Wavetek 2030 со следующими характеристиками:

- диапазон измерения тока - (0,1 - 10) А погрешность 0.5 %;
- диапазон измерения напряжения - (0,1-1000) V погрешность 0.25 %;
- диапазон измерения напряжения – 0,01  $\Omega$ -20,9 М $\Omega$  погрешность (0,5 – 1,5) %.

12) Биконическая антенна R&S HK116 с диапазоном частот от 20 до 300 MHz.

13) Активная направленная антенна HE300 с диапазоном частот от 9 kHz до 20 MHz.

Исследования проводятся на реально действующей распределительной сети электропитания ГУП «UNICON.UZ» с применением оборудования PLC компании «Mattron Corp.». Были созданы идеальные условия передачи при непосредственном подключении модемов в один пилот после фильтрации помех от сети электропитания. Проведение исследований в условиях отсутствия помех от внешних источников в БЭК.

*Структура построения низковольтной распределительной сети электропитания в здании ГУП «UNICON.UZ».* Структура распределительной низковольтной сети 220/380 V в здании ГУП «UNICON.UZ» приведена на рисунках 11 и 12. Основное питание для здания ГУП «UNICON.UZ» подведено двумя силовыми четырехпроводными алюминиевыми кабелями с диаметром каждой жилы 9 и 7 mm<sup>2</sup> от трансформатора находящегося на расстоянии 300 m от здания. От главного распределительного щита электроэнергия распределяется на вторичные распределительные щиты с помощью четырех проводного алюминиевого кабеля с сечением каждой жилы 6 mm<sup>2</sup>.

В здание ГУП «UNICON.UZ» создано три группы энергоснабжения по характеру приемников электроэнергии:

- розетки для кондиционеров;
- розетки для компьютеров и оргтехники
- освещение и «бытовые» розетки.

Распределительная сеть каждой группы выведена на независимые щиты вторичного распределения с автоматами.

Распределительная сеть каждой группы создана с помощью двухпроводных медных проводов сечением 2,5 mm.

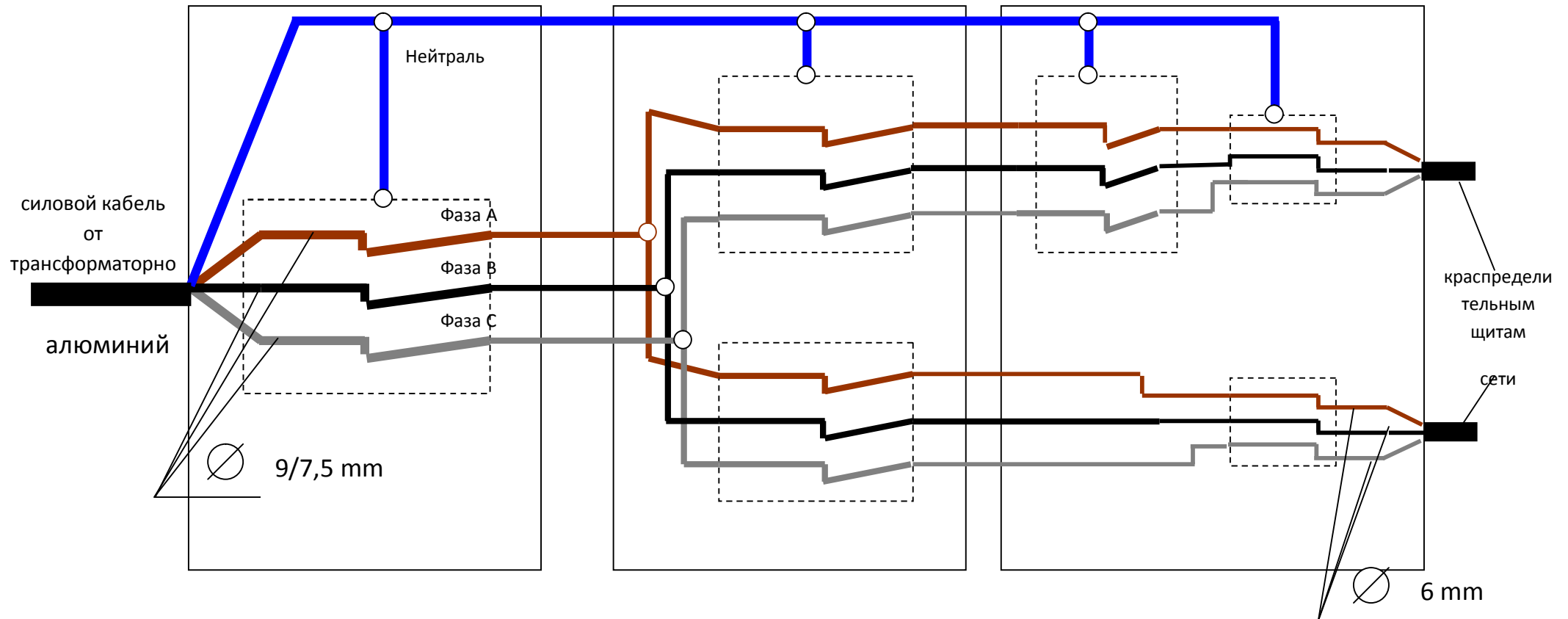
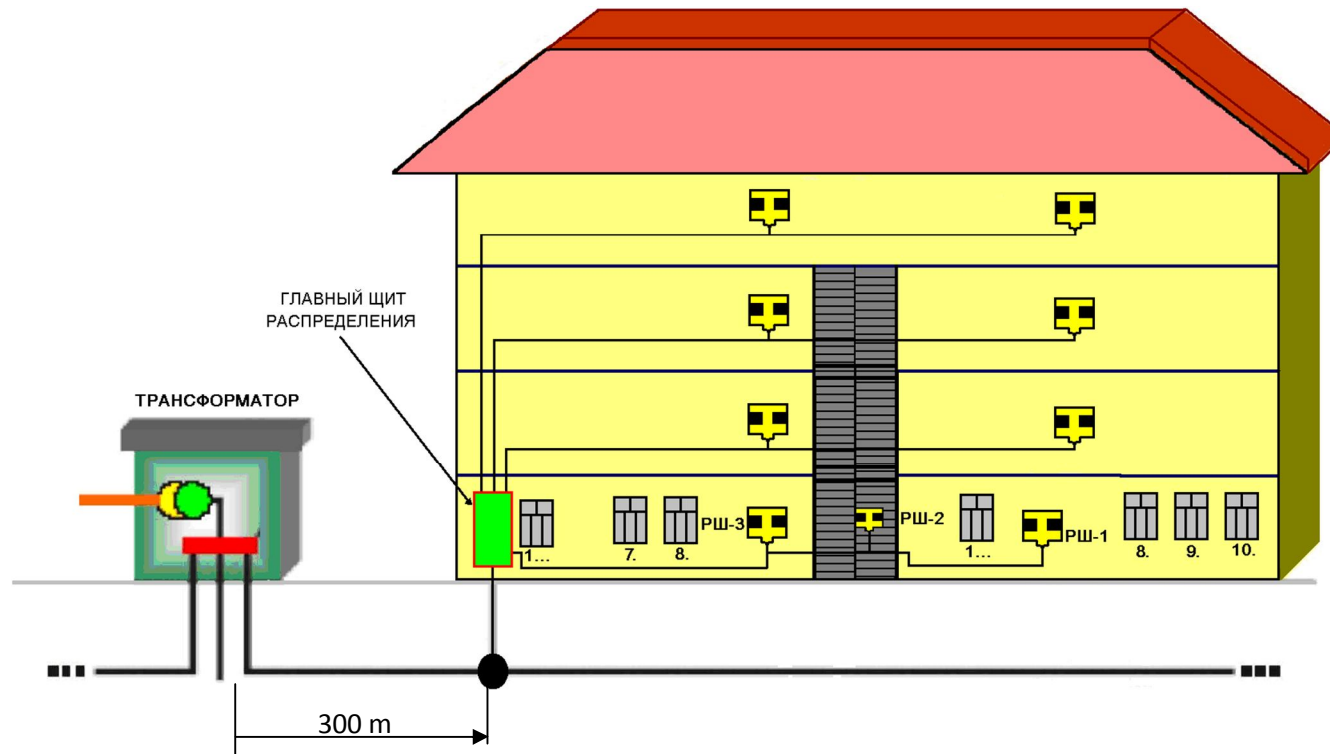


Рисунок 11 - Схема главного распределительного щита ГУП «UNICON.UZ» состоящий из трех распределительных шкафов



--Распределительный шкаф.

РШ-1 - Распределительный щит, предназначенный для электроснабжения систем кондиционирования воздуха.

РШ-2 - Распределительный щит, предназначенный для электроснабжения системосвещения и бытовых розеток.

РШ-3 - Распределительный щит, предназначенный для электроснабжения персональных компьютеров.

Рисунок 12 - Структура низковольтной распределительной сети электропитания в здании ГУП «UNICON.UZ»



## **2. Анализ качества передачи данных по локальной сети PLC, созданной в здании ГУП «UNICON.UZ» при нормальных условиях эксплуатации**

Были проведены исследования передачи IP трафика между двумя и более PLC модемами в помещениях ИЛ СИЦ ТСТ с проведением анализа скорости передачи IP трафика с помощью анализатора IP DA-3400. Проводился анализ скорости передачи между модемами PLC подключаемыми к разным розеткам в нескольких помещениях испытательных лабораторий СИЦ ТСТ, ОС ТСТ, расположенных на одном этаже одного крыла здания ГУП «UNICON.UZ», помещении Базовой метрологической службы, расположенного в противоположном крыле здания а также других отделах ГУП, расположенных на различных этажах здания на одной и различных фазах сети электропитания в пределах одной группы мастер модема. Один мастер модем поддерживает группу из четырех Slave модемов и выполняет функции шлюза для выхода в локальную сеть ГУП «UNICON.UZ» и Internet. Различные варианты подключения модемов и скорости передачи данных между компьютерами, измеренные при этих подключениях приведены на последующих рисунках. Сравнительный анализ скоростей передачи данных при различных вариантах подключения и расстояниях между модемами приведен в таблице 7.

*Методика тестирования.* Для тестирования между двумя ПК был организован канал связи с применением линии электросети офисных помещений ГУП «UNICON.UZ». Использовались два идентичных компьютера ноутбука, имеющих следующую конфигурацию:

- процессор – Intel(R) Core(TM) DUO CPU T2450 2 GHz;
- оперативная память - DDR2- 1GB;
- сетевой контроллер - интегрированный Intel(R) 82801G (ICH7 Family);
- жесткий диск - WDCWDI (80 GB);

- операционная система WindowsXPProfessionalSP3.

К обоим компьютерам были подключены HomePlugAV Slave модемы. Выход в локальную сеть ГУП «UNICON.UZ» и Интернет осуществлялся через HomePlugAV Master модем, подключенный через HUB к локальной сети.

Конфигурация и настройка канала связи производилась с утилиты INT6x00 Device Manager. Запустив утилиту INT6x00 Device Manager, в первом ее окне Configurathion можно получить информацию о подключенных к компьютеру HomePlugAV модемах, а во втором о качестве соединения по силовой линии (рисунок 13). В окне Configurathion можно настроить конфигурацию модемов и назначить группу для доступа Slave HomePlugAV модемов к сети и выхода в интернет задав пароль доступа к сети .

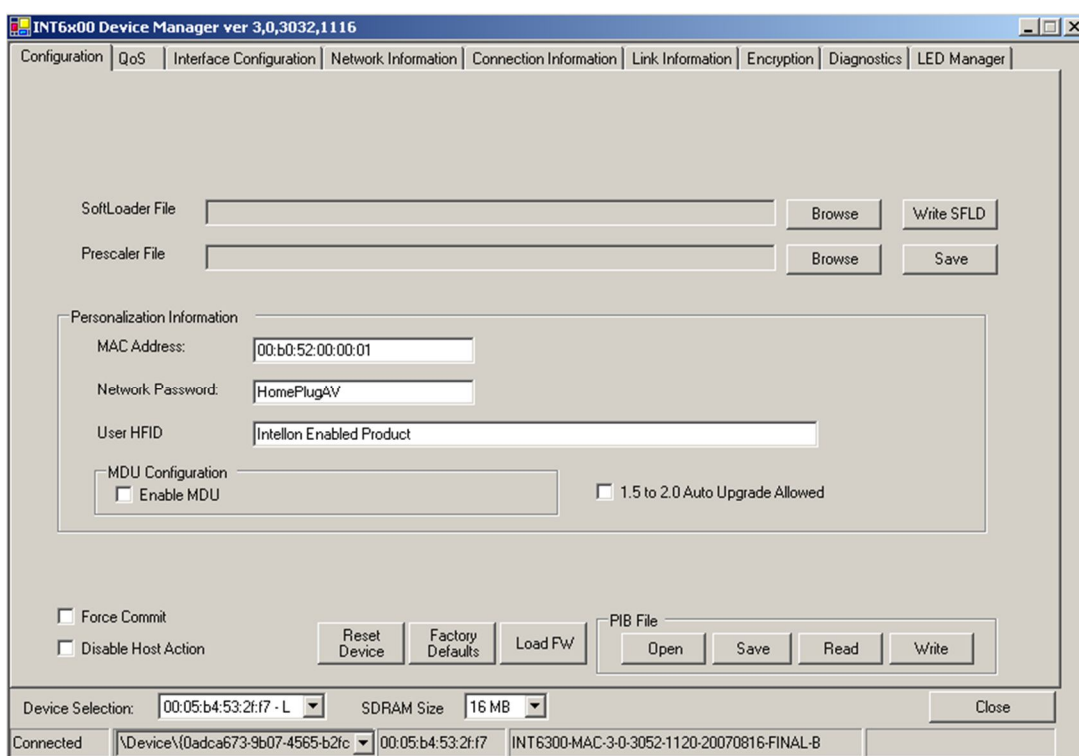


Рисунок 13- Окно Configurathion утилиты INT6x00 Device Manager

Четвертое окно этой утилиты, Network Information, позволяет обнаружить другие HomePlug AV модемы, подключенные к электросети, предоставляя информацию о MAC-адресе (рисунок 14) подключенных устройств.

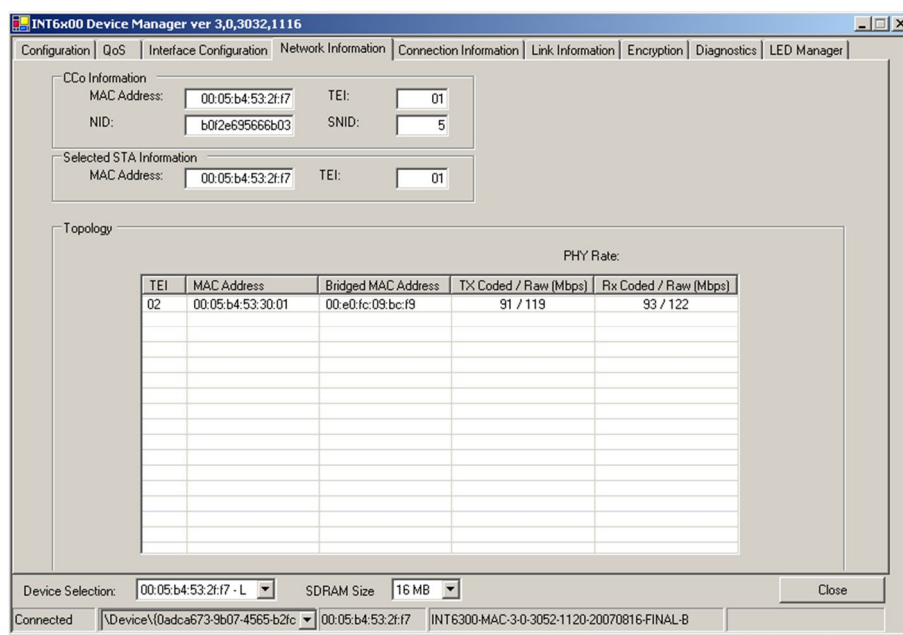


Рисунок 14 - Окно Network Information утилиты INT6x00 Device Manager

Для оценки скорости передачи данных в созданном канале связи использовался IP анализатор DA-3400.

По каналу связи между двумя ноутбуками передавались файлы данных (мультимедийные, текстовые и т.д.) в одном и в двух встречных направлениях. При этом контролировалась скорость передачи данных.

Таблица 7. Сравнительный анализ скоростей передачи данных при различных вариантах подключения и расстояниях между модемами.

№	Место подключения модемов  PLC  с компьютерами	Скорость передачи				Расстояние  между точками доступа
		Макс.		Средняя		
		1 файла	4 файла	1 файла	4 файла	
1	1 – Компьютер * СИЦ ТСТ ИЛ-03 Фаза 1 2 – Компьютер * СИЦ ТСТ ИЛ-03 Фаза 1	36.67 Мбит/с	52.27 Мбит/с	32 Мбит/с	16 Мбит/с	
2	1 – Компьютер * СИЦ ТСТ ИЛ-03 Фаза 1 + Фильтр питания Корейского производства Mattron	38.40 Мбит/с	53.58 Мбит/с	36 Мбит/с	15 Мбит/с	

	2 – Компьютер * СИЦ ТСТ ИЛ-03 Фаза 1 + Фильтр питания Корейского производства Matttron					
3	1 – Компьютер * СИЦ ТСТ ИЛ-03 Фаза 2 (Кондиционерная сеть питания) 2 – Компьютер * СИЦ ТСТ ИЛ-03 Фаза 2 (Кондиционерная сеть питания)		42.7 Мбит/с			
4	1 – Компьютер * СИЦ ТСТ Ил-01 Фаза №2 (Кондиционерная сеть электропитания), 2 – Компьютер * СИЦ ТСТ Ил-02 Фаза №2 (Кондиционерная сеть электропитания), 3 – Компьютер * СИЦ ТСТ Ил-03 Фаза №2 (Кондиционерная сеть электропитания), 4 – Компьютер * ОС ТСТ Фаза №2 (Кондиционерная сеть электропитания).	10,38 Мбит/с		6 Мбит/с		
5	1 – Компьютер * СИЦ ТСТ ИЛ-03 Фаза 2 (Кондиционерная сеть питания) 2 – Компьютер * ОС ТСТ Фаза №2 (Кондиционерная сеть электропитания).					

6	1 – Компьютер * СИЦ ТСТ ИЛ-03 Фаза 2 (Кондиционерная сеть питания) 2 – Компьютер * СИЦ ТСТ ИЛ-02 Фаза 1	20.48 Мбит/с	25.59 Мбит/с	14 Мбит/с	20 Мбит/с	
7	1 – Компьютер * СИЦ ТСТ ИЛ-03 Фаза 2 (Кондиционерная сеть питания) 2 – Компьютер * СИЦ ТСТ ИЛ-01 Фаза 1	26,96 Мбит/с		10,38 Мбит/с		
8	1 – Компьютер * СИЦ ТСТ ИЛ-01 Фаза 2 (Кондиционерная сеть питания)	349,43 Кбит/с  При выходе в Интернет		179,41 Кбит/с  При выходе в Интернет		
9	1 – Компьютер * СИЦ ТСТ ИЛ-02 2 – Компьютер * СИЦ ТСТ ИЛ-02 Оба компьютера подключены к генератору импульсных помех в один пилот: Помехи от генератора не подаются. Подаются наносекундные помехи в течении 15 минут Подаются микросекундные импульсные помехи большой энергии 5 минут	8.42 Мбит/с  Скорость та же То же	9.02 Мбит/с  Скорость та же То же	7.73 Мбит/с  Скорость та же То же	7.85 Мбит/с  Скорость та же То же	
15	1 – Компьютер. Сеть электропитания БЭК (ГУП «UNICON.UZ») 2 – Компьютер. Сеть		64.85 Мбит/с		29.50 Мбит/с	

	электропитания БЭК Включены в одну розетку. Передача файлов с одного компьютера на другой компьютер.					
16	1 – Компьютер. БЭК (ГУП «UNICON.UZ») 2 – Компьютер. БЭК (ГУП «UNICON.UZ») Включены в одну розетку. Передача и прием файлов.	Передача: 50.46 Мбит/с  Прием: 43.06 Мбит/с  Общее 93.52 Мбит/с	Передача: 40.02 Мбит/с  Прием: 41.24 Мбит/с  Общее 81.26 Мбит/с			

*Анализ качества передачи данных по локальной сети, созданной в здании ГУП «UNICON.UZ» при влиянии воздействующих факторов.* Для оценки помеховой обстановки сети электропитания ГУП «UNICON.UZ» специалистами СИЦ ТСТ в помещениях испытательных лабораторий и ОС ТСТ были проведены измерение уровня радиопомех в диапазоне частот 2-34 MHz с помощью селективного микровольтметра ESCI. Измерения проводились при подключении входа ESCI через соответствующий ответвитель к розеткам трех групп распределительных сетей электроснабжения ГУП «UNICON.UZ». в каждом помещении были проведены измерения для каждой отдельной группы электропитания. Результаты измерений приведены на рисунках №№22-33 в Приложение 3.

Как видно из рисунков уровень помех в сети некоторых помещений превышает нормы установленные O'z DSt 1038[24] для оборудования класса Б, т.е. оборудования подключаемого к низковольтным электрическим сетям. Настоящие радиопомехи создаются в основном компьютерной и оргтехникой, а также некоторыми бытовыми устройствами при функциональной деятельности ГУП «UNICON.UZ». Высокий уровень радиопомех в сети электропитания не может не

сказаться на пропускную способность сети передачи данных PLC. Для проведения сравнительного анализа пропускной способности созданной сети PLC между идеальными условиями передачи и реальной сети электропитания проведена оценка максимально возможной скорости передачи в идеальных условиях передачи при соединении двух компьютеров через PLC модемы, включенные в сеть питания БЭК в отсутствие внешних радиопомех в данной сети внутри БЭК. Так как распределительная сеть электропитания внутри БЭК подключается к внешней сети электропитания через соответствующие радиочастотные фильтры (уровень затуханий помех вносимые фильтром приведены на рисунке 20) то уровень помех и шумов в сети электропитания БЭК будет весьма незначительным. Соответственно воздействие помех на функционирования PLC модемы также сведен к нулю. Также проведены измерения скорости передачи при соединении двух компьютеров через PLC модемы, включенные в сеть питания после фильтра компании Mattron. Полученные данные по пропускной способности сети приведены в таблице 7.

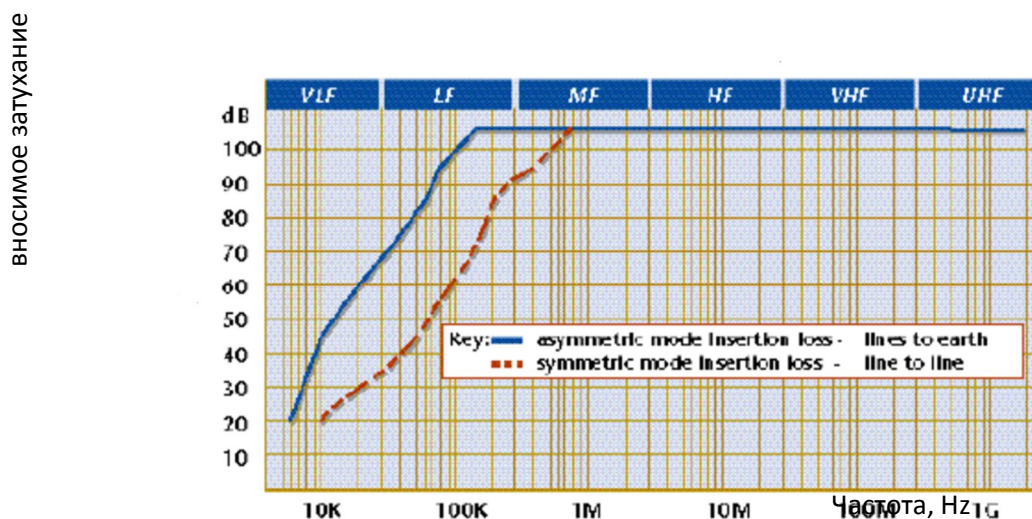


Рисунок 15 - Характеристики фильтра питания БЭК

В результате различных коммутационных переходных процессов и молниевых разрядов в сетях электропитания возникают различные роды помех в виде наносекундных и микросекундных импульсных помех большой энергии, амплитуда которых может достигать 4-5 kV. В соответствии с

требованиями международных стандартов IEC6100-4-4 [19] и IEC6100-4-5 [20] технические средства должны быть устойчивы и нормально функционировать при воздействии на порты электропитания и связи пачек наносекундных и микросекундных импульсных помех. Стандартами устанавливаются требования:

- к форме импульсов испытательного напряжения;
- степени жесткости испытаний;
- испытательному оборудованию;
- методам испытаний.

Согласно требованиям стандартов воздействующие импульсы должны иметь следующие параметры:

Наносекундные импульсные помехи:

- длительность фронта импульсов -  $5 \text{ ns} \pm 30 \%$ ;
- длительность импульса (на уровне 50 % пикового значения) -  $50 \text{ ns} \pm 30 \%$ ;
- частота повторения импульсов в зависимости от амплитуды выходного напряжения –  $5 \text{ kHz} \pm 20 \%$  при 0,125, 0,25, 0,5, 1,0 kV и  $2,5 \text{ kHz} \pm 20 \%$  при 2,0 kV;
- форма импульса – согласно рисунка \_\_\_\_
- длительность пачки импульсов -  $5 \text{ ms} \pm 20 \%$ ;
- период следования пачек -  $300 \text{ ms} \pm 20 \%$ .

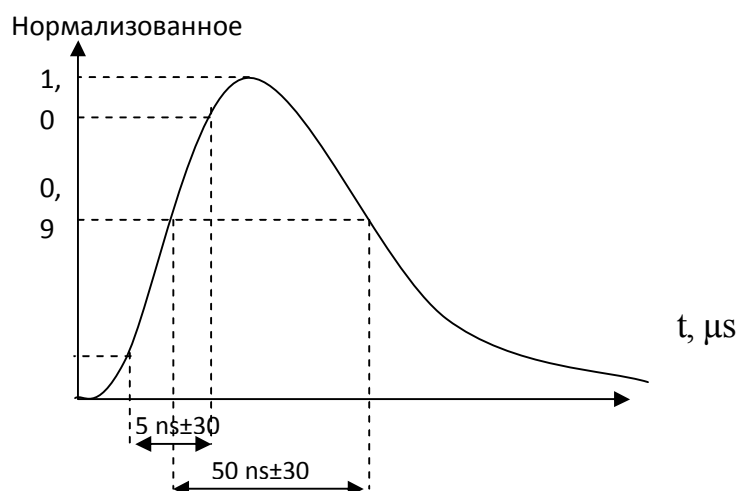
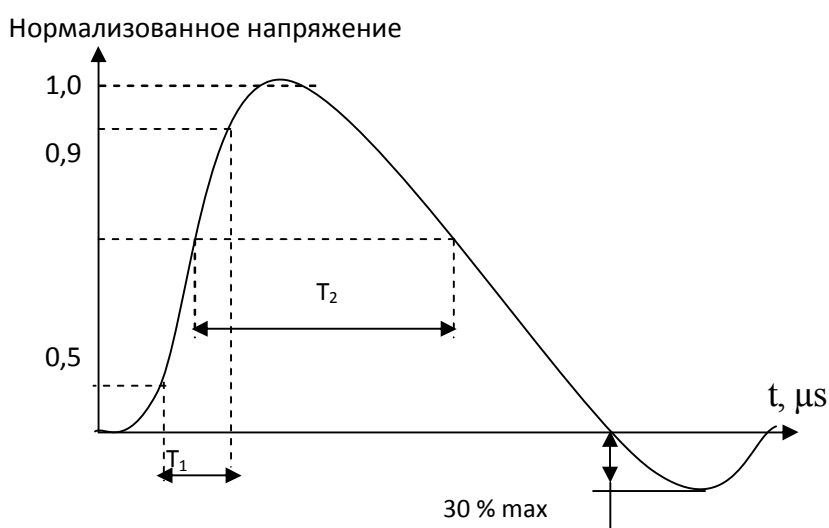


Рисунок 16 - Типовая форма наносекундного испытательного импульса



### Микросекундные импульсные помехи:

- амплитуда напряжения - от 0,5 до 4,0 kV;
- длительность фронта импульсов - 1  $\mu$ s;
- длительность импульса (на уровне 50 % пикового значения) - 50  $\mu$ s;
- период следования импульсов - 1 min;
- форма импульса – согласно рисунку 16



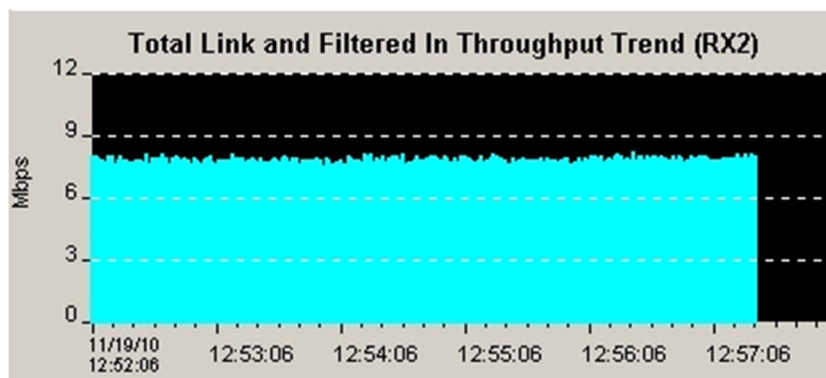
Длительность фронта  $T_1 = 1 \mu\text{s} \pm 30 \%$  ; Длительность импульса  $T_2 = 50 \mu\text{s} \pm 20 \%$ .

Рисунок 17 - Типовая форма микросекундного испытательного импульса

Был проведен сравнительный анализ скорости передачи IP трафика между двумя PLC модемами при воздействии импульсных наносекундных и микросекундных помех со степенью жесткости 2, подаваемых от генератора импульсных помех UCS 500N4 и при отсутствии данных помех. Оба модема подключены в один удлинитель, подсоединенный к генератору импульсных помех UCS 500N4. К модемам подключены два ноутбука между которыми передаются файлы данных. При этом с помощью IP анализатора подключенного в разрыв сети контролируется скорость передачи.

Результаты испытаний приведены на рисунке 18. Измерения показали что при воздействии на PLC модемы пачек импульсов наносекундных и

микросекундных помех, пропускная способность сети не изменялась. Данное оборудование стабильно работает при воздействии вышеприведенных помех.



При передаче 1го файла по каналу RX2 максимальная скорость передачи равна 8.42 Mbps, при этом средняя скорость передачи равна 7.73 Mbps.

Рисунок 18 - Результаты исследований

*Анализ скорости передачи IP трафика между двумя PLC модемами при изменении напряжения сети электропитания с помощью ЛАТР. Определение порога максимального и минимального напряжения электропитания воздействующего на качество передачи IP трафика.*

### **3. Исследование влияния оборудования PLC на другие технические средства информационных технологий**

Измерение промышленных помех отдаваемых в сеть модемами PLC в диапазоне частот 0,15-30 MHz.

Измерение напряженности поля создаваемого сетью PLC в БЭК в ВЧ диапазоне частот 2-30 MHz.

Исследование влияния кондуктивных помех созданных оборудованием PLC на технические средства и оборудование информационных технологий.

Исследование влияния PLC на прием в КВ (ВЧ) диапазоне с помощью измерения чувствительности приема КВ сигнала в присутствии помех от PLC и в их отсутствии.

#### **4. Исследование влияния кондуктивных помех созданных оборудованием PLC на технические средства и оборудование информационных технологий**

Оценка влияния кондуктивных помех, создаваемых оборудованием PLC на технические средства и оборудование информационных технологий, проводилась с помощью двух модемов PLC, соединенных в один электрический удлинитель. От одного компьютера на другой передавались данные через модемы PLC. От того же удлинителя осуществлялось питания компьютера и телевизора. При исследовании контролировалась функциональность компьютера, а также проводилась субъективная оценка качества приема изображения. Схема соединения модемов PLC и других технических средств для проведения исследования приведена на рисунке 19.

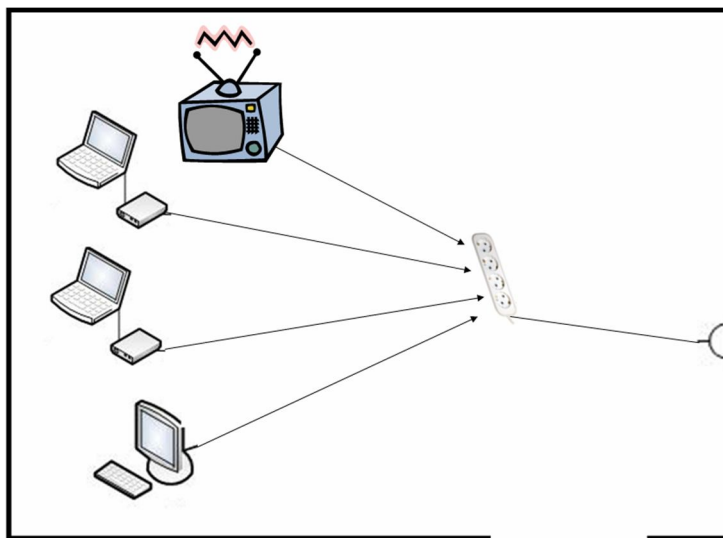


Рисунок 19 - Схема соединения оборудования PLC и других технических средств

Исследования влияния кондуктивных помех, создаваемых оборудованием PLC на компьютер и телевизор, показали что, кондуктивные помехи создаваемые оборудованием PLC не оказывают какого либо существенного влияния на качество работы данных технических средств.

### **Вывод по Главе III**

Исследование функционирования в реальных условиях эксплуатации оборудования компании «Mattron Corp.» на основе технологии передачи данных по силовым линиям (PLC) при влиянии воздействующих факторов.

В данной главе проведен анализ среды передачи данных, созданной на базе низковольтных распределительных сетей.

По результатам исследований получены экспериментальные данные о качестве работы, пропускной способности локальных сетей передачи данных на базе технологии PLC оборудования компании «Mattron Corp.», созданных на низковольтных распределительных сетях зданиях ГУП «UNICON.UZ» .

Исследования проведены в нормальных условиях эксплуатации, при различных воздействующих факторах и идеальных условиях передачи информации. Проведены исследования по обеспечению ЭМС.

Проведен анализ качественных показателей действующей сети электропитания и среды передачи.

## **Глава IV. Рекомендации и предложения по использованию технологии «PLC» в локальных сетях передачи данных**

### **1. На основе полученных экспериментальных данных выбор оптимальных требований к параметрам оборудования PLC для реальных условий применения**

*Среда передачи и допустимое расстояние между оборудованием PLC.*

При построении сети передачи данных на основе оборудования PLC одним из важных факторов является действующая сеть электропитания, так называемая среда передачи для PLC систем.

При современном уровне развития сетевых технологий, к среде передачи предъявляются жесткие требования. Среда передачи должна обеспечивать необходимые условия для требуемой скорости передачи, она должна обеспечивать высокую надежность при простых технических решениях и при всем этом она должна быть дешевой. Данные условия могут быть обеспечены путем оптимального выбора проводки и качества ее монтажа.

Как было отмечано ранее, технология реализует принцип множественного доступа точка - множество точек. Локальная трансформаторная подстанция поставляет определенному числу зданий электроэнергию, при этом, обеспечиваются условия для оказания услуги передачи данных с использованием технологии PLC подключенным пользователям, по проводам распределительной электросети.

Основным оконечным оборудованием следует считать PLC-модем, который обычно реализует Ethernet интерфейс для связи с персональным компьютером (ПК). Таким образом, модем подключается к среде передачи, а через неё, к источнику информации, через точку подключения - розетку 220 V, а на выходе по соответствующему интерфейсу к ПК. Между точками подключения группы модемов PLC в сети (среда передачи) не должно быть

автоматических переключателей с индуктивными катушками, так как они вносят значительное затухание на высоких частотах на которых работают модемы PLC, и при этом нет возможности установления соединения между группой модемов PLC.

Выход в Интернет и в локальную сеть осуществляется через мастер модем, выполняющий роль шлюза. Каждый мастер модем поддерживает группу из нескольких Slave модемов. Соединение между модемами разных групп осуществляется через концентратор или коммутатор. Связь между устройствами устанавливается как в пределах одной группы мастер модема, так и между разными группами.

Сеть передачи данных на основе технологии PLC состоит из ряда вышеуказанных сетевых элементов подключенных к действующей сети электропитания и расположенных на определенном расстоянии друг от друга, при оптимальных условиях среды передачи расстояние между модемами может достигать сотен метров.

При передаче сигналов по распределительной сети электропитания могут возникать большие затухания сигналов из-за применения проводов с худшей электропроводностью и окисления мест соединения скруткой. Это приводит к ограничению дальности связи и скорости передачи/приема. График зависимости скорости передачи от вносимого затухания приведен на рисунке 1. Анализ зависимости скорости передачи от вносимого затухания проводился на медном кабеле сечением  $2,5 \text{ mm}^2$  в идеальных условиях при отсутствии различного рода помех. С помощью трекинг генератора в диапазоне частот от 2 до 30 MHz было определено среднее значение затухания вносимое кабелем на каждые 100 метров. Затухание измеренного кабеля составило 18,5 dB/100 m. Соответственно расчетное затухание 200 метрового кабеля составит 37 dB. Была измерена скорость передачи между двумя модемами подключенными к разным концам кабеля. Затем скорость передачи была аппроксимирована к затуханию в виде графика приведенного на рисунке 1. Результаты анализа показывают что, при увеличении затухания

линии электропередачи до 40 dB (эквивалентно 200 м кабеля сечением 2.5 см<sup>2</sup>) скорость передачи практически остается не изменной. При увеличении затухания более 40 dB скорость передачи падает как показано на рисунке 20.

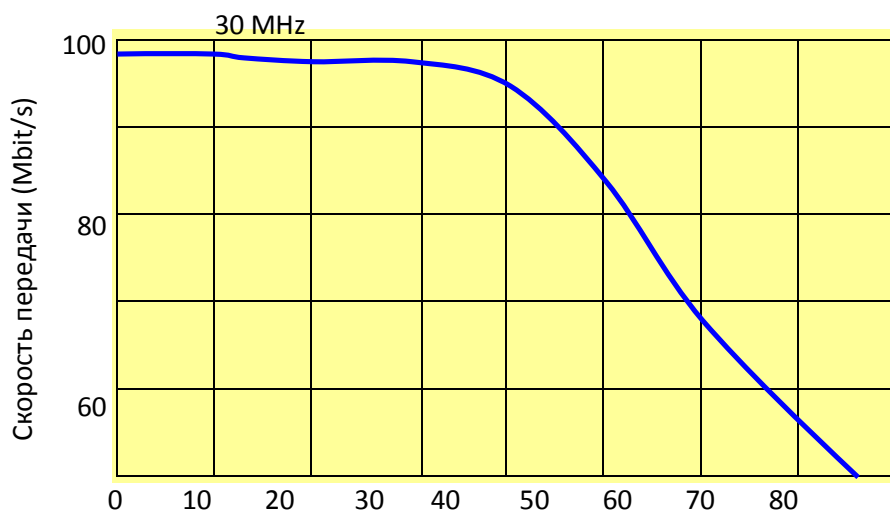


Рисунок 20 – Зависимость скорости передачи модема PLC от затухания кабеля полученная экспериментальным путем

*Качество среды передачи и электропитания.* По результатам исследования проведенных во третьей главе было выявлено что в сети электропитания существуют различного рода помехи создаваемые следующими источниками:

- компьютеры (ИРП);
- оргтехника (ИРП);
- люминесцентные лампы (наносекундные и микросекундные импульсные помехи);
- бытовые устройства;
- некачественные зарядные устройства (ИРП);
- выключатели (микросекундные импульсные помехи).

Максимальное влияние на пропускную способность сети перечисленные устройства оказывают при подключении в непосредственной близости от PLC-модема.



Качество сети электропитания характеризуется следующими показателями которые могут так же оказать влияние на функционирование сети передачи данных на основе технологии PLC:

- 1) Отклонение напряжения*
- 2) Колебания напряжения*
- 3) Несинусоидальность напряжения*
- 4) Несимметрия напряжений*
- 5) Отклонение частоты*
- 6) Провал напряжения*
- 7) Импульс напряжения*
- 8) Временное перенапряжение*
- 9) Надежность*

Все перечисленные выше помехи, присутствующие в электросети отрицательно сказываются на бесперебойное функционирование сети построенной на основе оборудования PLC.

Значения вышеприведенных показателей должны соответствовать требованиям ГОСТ 13109-97 [21], ГОСТ 721-77 [22] и ГОСТ 21128 -83 [23] что обеспечить стабильную работу сети PLC.

*Обеспечение ЭМС.* Рабочий диапазон частот оборудования PLC лежит в диапазоне кондуктивных промышленных радиопомех, в виду этого оборудование PLC с точки зрения электромагнитной совместимости является источником радиопомех для устройств подключенных к той же сети электропитания и может оказать отрицательное влияние в их работе или наоборот кондуктивные помехи созданные от других устройств могут оказать влияние к работе оборудования PLC. Исследования показали что, уровень кондуктивной (промышленной по типу Б) помехи наводимой оборудованием в сеть электропитания превышает установленных норм в среднем значении на 28 dB.

Воздействие оборудования PLC на некоторые системы телекоммуникаций может быть на первый взгляд не заметна. Некоторые типы оборудования PLC динамично изменяют мощность в полосе излучения, для поддержания соотношения сигнал/шум на (25-30) dB выше шума в линии, так как уменьшение соотношения сигнал/шум привело бы к уменьшению пропускной способности данных.

Для оценки потенциального ухудшения производительности системы связи из-за присутствия оборудования PLC, нужно рассматривать всю систему в целом. По большей части, широкополосное цифровое излучение для воздействующей системы представляется как помеха и будет воспринята как повышение нижнего порога шума. Некоторые системы PLC могут работать в режиме всплеска или пакетном режиме, что делает излучение более значительным и потенциально более вредным. Аналоговые узкополосные системы с АМ или с однополосной модуляцией (SSB) будут подвержены влиянию помех от оборудования PLC больше всего, и в меньшей степени будут подвержены влиянию системы ЧМ модуляций. Системы, которые передают цифровую информацию, имеют преимущество по устойчивости к помехам из-за алгоритмов коррекции ошибок и обработки уровня связанных с передачей расширенного спектра.

Исследования показали, что самым уязвимым является коротковолновая система связи SSB (передача аналогового звука с полосой 3,1 kHz), которая работает в том же спектре частот что и PLC.

Широкополосные цифровые сигналы представляются как шумоподобные излучения. Важными параметрами являются ширина излучения, общая мощность излучения и спектральная плотность мощности по выбранным сегментам, соответствующим распределенному каналу в спектре, представляющим интерес. Эти помехи должны быть измерены с применением детектора среднеквадратичных значений, для получения истинных уровней мощности.

Совокупный шум напряженности электромагнитного поля излучаемый оборудованием PLC может иметь пагубное влияние на ВЧ радио связь. Это особенно проявит себя когда домашние PLC Системы станут широко распространенными. Однако, нужно отметить здесь что определение характера и серьезность любого возможного пагубного влияния необходимо исследовать в дальнейшем.

Результаты исследований показали что при нахождении работающего оборудования PLC на расстоянии 1 m от КВ приемника чувствительность приемника снижается на 20 dB. При увеличении расстояния чувствительность увеличивалась пропорционально расстоянию удаления оборудования PLC 1 dB на 1 m. Данные исследования показали, что функционирующее оборудование PLC, находящееся на небольшом расстоянии от устройств радиосвязи КВ диапазона значительно влияет на прием сигнала в диапазоне от 2 до 30 MHz, уменьшая чувствительность приемника и соответственно ухудшая его функциональность.

Следовательно, PLC системы по сравнению с технологией xDSL вызовет большинство проблем касательно ВЧ помех потому что устройства PLC систем использующих линию электропередачи в качестве среды передачи, несущие сигналы PLC, являются неумышленным излучателем помех. Величина излучения зависит от симметрии сети на радиочастотах. Асимметрия связана с различием импеданса между проводниками и землей, оптимальным является равенство импедансов. Линии PLC имеют большую асимметрию чем линии xDSL, а также проявляют нерегулярность импеданса. Любая неоднородность импеданса в линии передачи, которая может возникнуть от устройства связи PLC, трансформатора, ответвления или изменения в направлении линии, может явиться причиной излучения помех непосредственно или отражениями сигналов, формирующих стоячие волны, которые излучаются от проводников. Даже если радиочастотная энергия введена в один из двух или более проводников, оставшиеся провода вообще действуют как паразитные излучатели, и поэтому, линии могут действовать как массив антенных элементов на определенных частотах.

Исследования также показали не обеспеченность информационной безопасности в работе PLC систем из-за наводок создаваемых (межфазных) в сети электропитания, а также из-за незащищенности экранировкой от ВЧ помех силовых кабелей.

Исследования по уровням напряженности электромагнитного поля создаваемого оборудованием PLC показали, что наиболее оптимальными нормами к уровню напряженности поля в диапазоне частот от 2 MHz до 1 GHz подходят требования установленные Американской комиссией по связи FCC часть 15, которые приведены на рисунке 21.

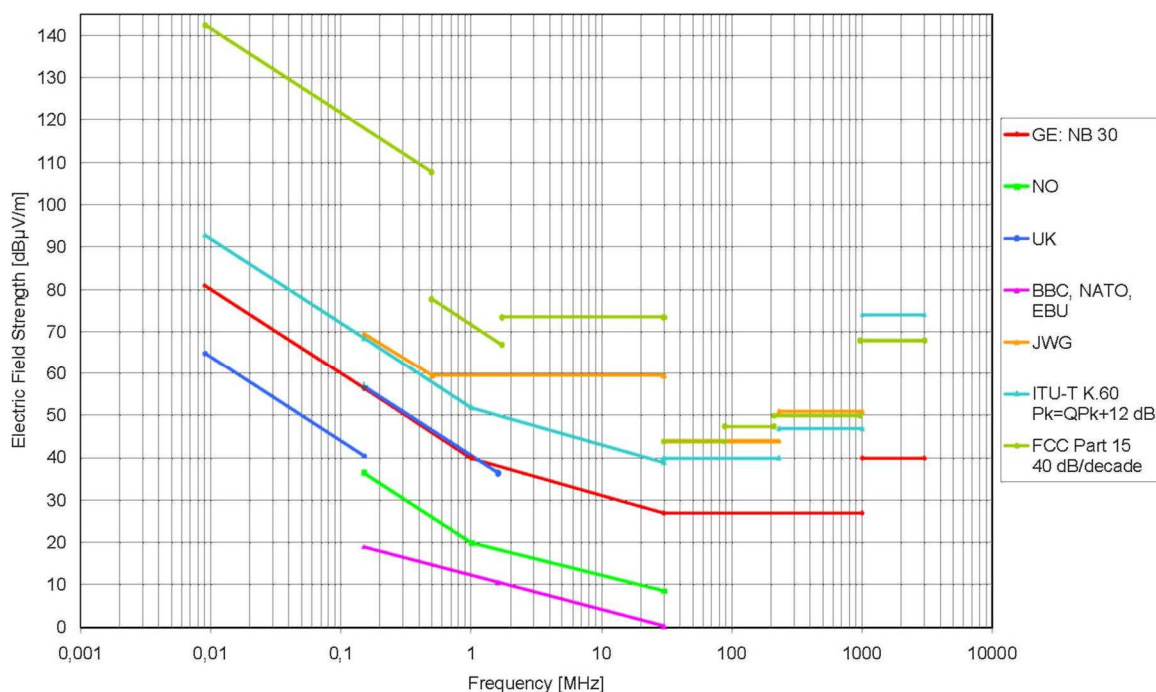


Рисунок 21 – Нормы на уровни напряженности электромагнитного поля создаваемого оборудованием PLC установленные различными международными организациями.

Исследования проведенные во третьей главе показали что для обеспечения качества передачи сигналов между оборудованием PLC и установления канала связи на требуемом расстоянии, уровень сигнала отдаваемый оборудованием PLC в распределительную сеть электропитания в диапазоне частот от 2 до 30 MHz значительно превышает нормы,

установленные O'z DSt 1038 [24] и CISPR 22 [25] к оборудованию информационных технологий в части ИРП даже для оборудования класса А.

По результатам исследования было определено что уровень кондуктивных радиопомех отдаваемых оборудованием в сеть электропитания составляет порядка 90 dB $\mu$ V в диапазоне частот от 2 до 30 MHz.

В результате исследований было установлено что оборудования PLC устойчиво работает без изменения пропускной способности при воздействии на оборудования пачек импульсов наносекундных и микросекундных помех со степенью жесткости 2, что соответствует требованиям международных стандартов IEC6100-4-4 [19] и IEC6100-4-5[20].

*Требование к оборудованию PLC.* Оборудование PLC в части требований по безопасности должно соответствовать ГОСТ 30326 [26].

Основные характеристики и параметры Оборудования PLC:

- диапазон частот – от 2 до 34 MHz;
- скорость передачи – до 200 Mbit/s;
- технология передачи по сети электропитания – OFDM;
- технология передачи по сети (LAN) – CSMA/CA (ETHERNET);
- дальность работы в пределах 200 m;
- электропитание напряжение переменного тока от 110 до 250 V частотой 50/60 Hz;
- рабочая температура от 0 до 45 °C, влажность от 10 до 90 %.

## **2. Рекомендации по использованию технологии «PLC» в распределительных электрических сетях Республики Узбекистан**

Учитывая международный опыт по развертыванию сети передачи данных на основе технологии PLC, а также результатов проведенных исследований рекомендуется в качестве среды передачи применять кабель из медного провода при этом расстояние между сетевыми элементами должна находится в пределах 200 м.

Для нормальной работы PLC необходимо выполнение следующих требований:

- качественное выполнение электропроводки;
- отсутствие стыков из разных материалов (например, медного и алюминиевого проводника);
- отсутствие переключателей с индуктивными защитными устройствами которые вносят сильное затухание;
- наименьшее количество соединений скруткой;
- не применять для электропитания модемов сетевые фильтры и UPS.

При развертывании сети передачи данных на основе PLC необходимо обеспечить необходимое качество среды передачи путем создания свободного от различного рода помех условий или принять необходимые меры по их устранению:

- сеть на основе PLC необходимо развертывать на другой фазе сети электропитания, в которой не подключены осветительные приборы или иные устройства вызывающие электромагнитные помехи;
- применение для электропитания компьютеров и других источников ИРП фильтров питания с возможностью подавления помех не менее 30 dB;
- для среды передачи (электропроводка) применять силовые кабели с медными жилами;
- обеспечение надежности и качества низковольтной распределительной сети электропитания;

- для развертывания сети в масштабах здания с использованием в качестве среды передачи все 3-фазы распределительной сети необходимо обеспечить индуктивное соединение модемов расположенных на разных фазах с помощью специальных устройств (Coupler).

В местах наличия КВ связи общегражданского или особенно специального назначения не рекомендуется развертывание широкомасштабных сетей PLC так как они могут создать сильные помехи и пагубно сказаться на качестве связи КВ диапазона. При необходимости развертывания сетей PLC рекомендуется избегать установки PLC оборудования непосредственной близости к КВ приемникам и предпринять меры по их экранированию.

Для развертывания сетей PLC в Узбекистане и обеспечения их электромагнитной совместимости с другими радиослужбами необходимо разработать государственные стандарты, устанавливающие нормы на кондуктивные и излучаемые уровни помех от оборудования PLC покрывающие аспекты электромагнитной совместимости проводных телекоммуникационных сетей, включая их Домашние PLC расширения. В том числе стандарты должны регламентировать требования по совместному использованию систем PLC с системами КВ радиосвязи.

Необходимо создать правовую основу применения этой технологии на распределительных сетях электропитания Узбекистана[28].

## Заключение

В последнее время сетевые технологии стремительно развиваются. Основная ставка делается на увеличение скорости и пропускной способности, одновременно нельзя забывать и об экономичности. Ведь прокладка десятков километров оптоволокну – удовольствие чрезвычайно дорогое. Следовательно, исследуются способы создания средств информационного обмена, которые будут достаточно дешевыми и доступными повсеместно. Этим критериям как нельзя лучше отвечают сети электропередачи. Преимущество их неоспоримо, ведь они доходят практически до каждого помещения в любой стране мира, их инфраструктура является едва ли не самой развитой.

Учитывая динамику развития рынка, можно ожидать, что широкополосные технологии PLC могут найти широкое применение в самых различных отраслях - от телеметрии ресурсов коммунальных сетей до многофункциональных интеллектуальных систем отдельных зданий и помещений по предоставлению широкого спектра услуг передачи данных.

Широкое распространение низковольтных электрических сетей 220/380 V, отсутствие необходимости проведения дорогостоящих работ по строительству траншей и пробивке стен для прокладки кабелей стимулируют повышенный интерес к этим сетям как к среде передачи данных. Потенциальные преимущества передачи данных по проводам электросети огромны. Фактически сеть может быть развернута на любом участке, на котором имеются линии электропитания.

Применение современных методов обработки сигналов и кодирования данных, которые давно и успешно используются в широкополосных беспроводных и проводных технологиях (xDSL, WiMax, Wi-Fi, мобильной связи и т.д.) позволило достичь в PLC технологии высокой скорости (до 200 Mbit/s) и достоверности передачи данных. Учитывая широкое распространение низковольтных электрических сетей, технология PLC



показала, что к ней проявлен интерес для использования в домашних сетях и небольших офисах.

Несмотря на оптимистичные результаты работы экспериментальных PLC-сетей за рубежом, подобная технология в нашей стране, вероятно, столкнется с рядом трудностей. Технические параметры электросетей Узбекистана отличаются от сетей в Европе и США, тем что наша электрораспределительная сеть имеет провода в основном из алюминия, а не из меди, которая используется в большинстве стран мира. Алюминиевые провода обладают худшими электрическими и механическими качествами, худшая электропроводность и большая хрупкость алюминия по сравнению с медью приведёт к большему затуханию сигнала. Это обязательно негативно скажется при использовании PLC технологии в РУз. Другая проблема заключается в том, что у нас не решены вопросы нормативно-правового регулирования использования PLC-технологий. Необходимо признать что эта технология имеет большой потенциал, и вероятно, будет далее развиваться, ТАК КАК ее использование во многих приложениях имеет следующие преимущества:

- высокая пропускная способность (до 200 Mbit/s);
- простота использования;
- доступность точек подключения;
- надежность;
- низкая стоимость.

Объектом исследования является проведение анализа существующих технологий передачи данных по распределительным электрическим сетям и ведущих производителей оборудования для построения сетей на основе PLC. Исследование структуры действующих сетей на основе PLC, функционального состава и принципов организации связи.

Исследование функционирования в реальных условиях эксплуатации оборудования компании «Mattron Corp.» на основе технологии передачи данных по силовым линиям (PLC) при влиянии воздействующих факторов.

По полученным на основании практических результатах проведенных экспериментальных исследований выработаны требования к оборудованию PLC, рекомендации даны рекомендации по развертыванию локальных сетей передачи данных на базе оборудования PLC на низковольтных распределительных сетях электропитания и обеспечения ЭМС.

Установлено что основными недостатками применения систем PLC являются:

- негативное влияние работающих систем PLC на системы радиосвязи работающих в КВ диапазоне.
- отказ системы PLC при пропадании электропитания в аварийных ситуациях;
- высокий уровень ИРП отдаваемых оборудованием PLC в сеть электропитания;
- низкий уровень информационной безопасности.

По результатам исследований были опубликованы работы [12-14], которые отражают основное содержание диссертации.

## **Список использованной литературы**

### **I. Нормативно правовые документы:**

1. Закон республики Узбекистан (об информатизации) от 11 декабря 2003 г.
2. Указ Президента Республики Узбекистан «О дальнейшем развитии компьютеризации и внедрении информационно-коммуникационных технологий». г. Ташкент, от 30 мая 2002 г.
3. Постановление Президента Республики Узбекистан «О мерах по дальнейшему внедрению и развитию современных информационно-коммуникационных технологий», г. Ташкент, 21 март 2012 г.

### **II. Учебники и учебные пособия:**

4. ХанЭ.В., Широкополосные технологии передачи информации поверх силовых линий электропередач , Саратовский Государственный Университет им. Н.Г. Чернышевского, Саратов, Россия
5. HrasnicaH., HaidineA.,LehnertR., Powerline.CommunicationsNetworks. Network Design. John. BroadbandWileyandSons, Aug.2004

### **III. Научные статьи:**

6. Коробкин Е.С., Технологии и компоненты передачи данных по линиям электропитания, Журнал "Современные проблемы науки и образования", 2014 г., №1.
7. Жилкина Н., Альтернатива СКС, Журнал “Сетевых решений/LAN», 2009, № 02.
8. Большов Г. Широкополосный доступ по электросети, журнал «СК Пресс», ноябрь 2003, №11 (63).

9. Павловский А., PLC-технологии на рынке современных телекоммуникаций для домашних сетей, Журнал «Connect», 2006, № 4
10. Охримейко В., PLC технологии. Часть 1, Журнал «Электронные компоненты», 2009, № 10
11. Охримейко В., Связь по электрическим сетям. Принципы, стандарты, приложения, Журнал “Время электроники”, 2012, №6
12. Бекмухамедов Ж.У., Варламова Л.П, Мунаваров А. Использование технологии PLC для передачи мультимедийной информации // Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции, Часть 1, ТУИТ, 2013, с. 129-130
13. Бекмухамедов Ж.У., доцент. К.т.н. Варламова Л.П, Мунаваров А. Исследование функционирования оборудования PLC на основе технологии передачи данных по силовым линиям // Сборник материалов региональной научно-практической конференции молодых ученых и студентов города Ташкент и Ташкентской области под девизом «XXI век – век интеллектуального поколения», Часть IV, НУУ, 2014, с.267-269.
14. Бекмухамедов Ж.У., доцент. К.т.н. Варламова Л.П, Мунаваров А. Исследование функционирования в реальных условиях эксплуатации оборудования Компании «MattronCorp.» на основе технологии передачи данных по силовым линиям (PLC) при влиянии воздействующих факторов // Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции, Часть 1, ТУИТ, 2014, с 86-88.

#### **IV. Стандарты:**

15. IEC-61000-4-4:1995 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-4: Testing and measurement techniques - Electrical fast transient/burst immunity test. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к наносекундным импульсным помехам. Требования и методы испытаний

16. IEC6100-4-5 Electromagnetic compatibility (EMC) –Part 4-5:Testing and measurement techniques –Surge immunity test. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. Требования и методы испытаний.

17. ГОСТ 13109-97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

18. ГОСТ 721-77 Системы электроснабжения, сети, источники, преобразователи и приемники электрической энергии. Номинальные напряжения свыше 1000 В

19. ГОСТ 21128 -83 Системы электроснабжения, сети, источники, преобразователи и приемники электрической энергии. Номинальные напряжения до 1000 В.

20. O'z DSt 1038 Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от оборудования информационных технологий. Нормы и методы испытаний.

21. CISPR 22 Стандарт Европейского Сообщества (CE), регламентирующий допустимые нормы радиоизлучения бытового и другого электрического оборудования.

22. ГОСТ 30326 Безопасность оборудования информационной технологии, включая электрическое контрольное оборудование

23. MPT 1570 Radiation Limits and Measurement. Standard  
Electromagnetic radiation from telecommunications systems operating over material substances in the frequency range 9 kHz to 300 MHz

24. «Nutzungsbestimmung» NB30 Order on the Table of Frequency Allocations (German designation: FreqBZPV)”, October, 2004

## V. Интернет ресурсы:

25. Pablo Gagliardo. Take advantage of power line communications in nextgen home networking & IPTV designs. — CommsDesign. 2009 (<http://www.commsdesign.com/article/printableArticle.jhtml?articleID=217300850>).
26. <http://www.cenelec.eu/> //Европейский комитет электротехнической стандартизации, отвечающий за европейские стандарты в области электротехники
27. HomePlug Command & Control (C&C). Overview. White Paper. - HomePlug Powerline Alliance, 2008 ([www.homeplug.org](http://www.homeplug.org))
28. <http://www.fcc.gov> // FCC (Federal Communication Commission) Part 15 Regulations for Low Power, Non-Licensed Transmitters
29. [www.eetimes.com](http://www.eetimes.com) ./ What is Power Line Communication?  
CypressSemiconductor
30. White Paper: Comparison of Access Technologies. — OPERA Consortium, 2009 ([www.ist-opera.org](http://www.ist-opera.org)).

## Приложение 1

В магистерской диссертации применяются следующие термины с соответствующими определениями:

**высокие частоты; ВЧ:** Диапазон длин волн от 10 до 100 м, диапазон частот от 3 до 30 МГц.

**высокочастотные устройства:** Оборудование или приборы, предназначенные для генерирования и использования радиочастотной энергии для промышленных, научных, медицинских, бытовых или иных целей, за исключением использования их для излучения или приема радиоволн.

**диапазон:** Область изменения какой-либо величины. Диапазон радиочастот (радиоволн) – участки, на которые условно разделена вся область радиочастот.

**естественная помеха:** Электромагнитная помеха, источником которой являются природные физические явления.

**защита:** Совокупность технических, организационных и правовых мер, с помощью которых обеспечивается безопасность работы и предотвращается несанкционированный доступ к ресурсам системы.

**излучение:** Радиочастотная радиация в случае, когда источником является радиопередатчик.

**индустриальные радиопомехи:** Электромагнитные излучения в диапазоне радиочастотного спектра, создаваемые техническими средствами, не предназначенными для передачи радиоволн.

**источник помехи:** Источник искусственного или естественного происхождения, которые создают или могут создать электромагнитную помеху.

**компьютер:** Совокупность аппаратных средств, которая способна исполнять определенную последовательность операций, предписанных встроенным программным обеспечением (ПО) и загружаемым ПО. Понятие

«компьютер» более емкое, чем термин «ЭВМ», в котором основной акцент делался на вычисления.

**микросекундная импульсная помеха (средство вычислительной техники); МИП:** Импульсная помеха средству вычислительной техники, длительность которой лежит в пределах от одной микросекунды до одной миллисекунды.

**микроволны:** Электромагнитное излучение с короткой длиной волны, практическое использование которого возможно с использованием волновода или других методов при передаче и приеме.

**модем:** Функциональное устройство, обеспечивающее модуляцию и демодуляцию сигналов.

#### Примечания

1 Модем позволяет, в частности, осуществлять передачу цифровых данных с помощью аналоговых средств передачи.

2 Термин «модем» является сокращенным названием модулятора-демодулятора.

**наносекундная импульсная помеха (средству вычислительной техники), НИП:** Импульсная помеха средству вычислительной техники, длительность которой лежит в пределах от одной наносекунды до одной микросекунды.

**напряженность магнитного поля:** Векторная физическая величина,  $H$ , которая наряду с плотностью магнитного потока характеризует магнитное поле в любой точке пространства. Выражается в амперах на метр ( $A \cdot m^{-1}$ ).

**напряженность электрического поля:** Сила ( $E$ ), действующая на положительный заряд, находящийся в данной точке в электрическом поле. Выражается в вольт на метр ( $V \cdot m^{-1}$ ).

**низковольтная распределительная электрическая сеть:** Низковольтная распределительная электрическая сеть энергоснабжающей организации (электрическая сеть общего назначения) или низковольтная электрическая сеть потребителя электрической энергии, предназначенная для



питания различных приемников электрической энергии в местах их размещения.

**низкие частоты; НЧ:** - Диапазон частот от 30 до 300 kHz, диапазон длин волн от 1000 до 10000 m.

**норма на помеху:** Регламентированный максимальный уровень помехи.

**норма на эмиссию:** Регламентированный максимальный уровень эмиссии.

**оборудование информационных технологий; ОИТ:** Любое оборудование:

а) выполняющее основную функцию, связанную с вводом, хранением, отображением, поиском, передачей, обработкой, управлением или коммутацией данных и сообщений связи, которое при этом может быть снабжено одним или несколькими портами, используемыми обычно для передачи информации;

б) имеющее номинальное напряжение питания не более 600 V.

ОИТ включает, например, оборудование обработки данных, офисные машины, электронное оборудование для делопроизводства и оборудование связи.

**помехозащищенность:** Способность ослаблять действие электромагнитной помехи за счет дополнительных средств защиты от помех, не относящихся к принципу действия или построения технического средства.

**пропускная способность канала:** Мера способности данного канала при определенных ограничениях передавать сообщения, исходящие из определенного источника сообщений, выраженная либо как максимальное возможное среднее на один символ количество переданной информации, либо как максимальная возможная средняя скорость передачи информации, которая может быть достигнута при сколь угодно малой вероятности ошибок благодаря использованию подходящей кодировки.

**сетевые помехи:** Кратковременные или длительные изменения напряжения электропитания.

**уровень помехи:** Значение величины электромагнитной помехи, измеренное в регламентированных условиях.

**электромагнитная совместимость:** Условия, при которых возможно совместное использование различных средств радиосвязи и гарантируется, что их взаимное влияние не приведет к снижению качества связи ниже установленных норм.

**электромагнитные помехи:** Помехи в виде электромагнитных волн, распространяющихся от различных источников излучения, непосредственно не связанных с полезным сигналом, но искажающих его.

**электромагнитная совместимость технических средств:** Способность технического средства функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам.

**электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств:** Способность радиоэлектронных средств одновременно функционировать в реальных условиях эксплуатации с требуемым качеством при воздействии на них непреднамеренных радиопомех и не создавать недопустимых радиопомех другим радиоэлектронным средствам.

## Приложение 2.

В магистерской диссертации применяются следующие сокращения:

**3G (Third-Generation)** - системы цифровой мобильной связи третьего поколения

**3GPP (3rdGenerationPartnershipProject)** - Консорциум, разрабатывающий спецификации для мобильной телефонии третьего поколения

**ADPSK (AmplitudeDifferentialPhaseShiftKeying)** - амплитудно-дифференциальная фазовая манипуляция

**ADSL (AsymmetricalDigitalSubscriberLine)** - асимметричная цифровая абонентская линия. Технология высокоскоростной передачи данных по обычным телефонным линиям

**ADSL2+ (ITU G.992.5)** - улучшенный вариант ADSL

**ASK (Amplitude-shiftkeying)** - амплитудная манипуляция со смещением ключей

**BPL (Broadband over Power Lines)** - широкополосная передача по силовым линиям

**BPSK (Binary Phase Shift Keying)** - двоичная фазовая манипуляция

**CATV (Cabletelevision)** – кабельное телевидение

**CBPL (Cognitive Broadband over Power Lines)** – «распознаваемая» широкополосная передача по силовым линиям

**CDMA (CodeDivisionMultipleAccess)** – многостанционный доступ с кодовым разделением каналов

**CENELEC** - Европейский комитет по стандартизации в области электротехники и электроники

**CEPT** - Европейская конференция администраций электросвязи

**CISPR** - Международный специальный комитет по радиопомехам

**CoS (Class-of-Service)** - классобслуживания

**CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)** - множественный доступ с обнаружением несущей и избеганием коллизий

**DCSK** - дифференциальная кодовая манипуляция

**DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification)** - спецификация интерфейса кабельных систем передачи данных

**DQPSK** - относительная квадратурная фазовая модуляция со сдвигом

**DSLAM (DigitalSubscriberLineAccessModule)** – модуль доступа цифровой абонетской линии

**DTT (DigitalTerrestrialTelevision)** - цифровое телевидение наземного вещания

**DVB (DigitalVideoBroadcasting)** - наземное цифровое видео- и телевидение

**ELF (Extremely low frequency)** - частота выше нуля и ниже 300 Hz

**ETSI** - Европейский институт по стандартизации в области телекоммуникаций

**FEC (Forward Error Correction)** – прямая коррекция ошибок

**FSK (Frequency-shift keying)** - частотная манипуляция

**FSO (FreeSpaceOptics)** - технология связи в ИК-диапазоне в зоне прямой видимости

**FTTH (FiberToTheHome)** - сеть с доведением оптического кабеля до пользователя)

**FTTx (FibertotheX)** - оптоволоконный кабель к потребителю

**HD-PLC (High-DefinitionPowerlineCommunications)** - связь по силовым линиям с высоким разрешением

**HDTV (HighDefinitionTelevision)** – телевидение высокой четкости

**HFC (HybridFiberCoaxialCable)** - комбинированная оптокоаксиальная кабельная система. Используется в технологии широкополосного доступа к телекоммуникационным сетям

**HV (High Voltage)** - высокое напряжение

- IEC (International Electrotechnical Commission)** –  
международная электротехническая комиссия
- IEEE** - Институт инженеров по электротехнике и радиоэлектронике
- ISO (International Organization for Standardization)** –  
Международная организация по стандартизации
- LAN (Local Area Network)** - локальная сеть
- LMDS (Local Multipoint Distribution Service)** -  
локальная многоточечная распределенная служба. Используется в системах  
беспроводной связи
- LMDS (Local Multipoint Distribution Service)** - локальная  
многоточечная распределенная служба)
- LV (Low Voltage)** - низкое напряжение
- MAC (Media Access Control)** – управление доступом к среде передачи
- MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service)** - многоканальная  
многоточечная распределенная служба)
- MV Medium Voltage** - среднее напряжение
- NLOS (Non Line-Of-Sight)** - вне зоны прямой видимости
- NPL (Narrowband over Power Lines)** - узкополосная передача по  
силовым линиям
- OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)** - ортогональное  
частотное разделение каналов с мультиплексированием
- OPERA (Open PLC European Research Alliance)** - Европейский  
исследовательский альянс в области PLC
- OSI (Open Systems Interconnection)** - взаимодействие открытых систем
- PLC (Power Line Communication)** - технология, основанная на  
использовании электросети в качестве физической среды для  
высокоскоростного обмена информацией
- PLT (Power Line Telecommunications)** - телекоммуникации по  
силовым кабелям

**QAM (QuadratureAmplitudeModulation)** - квадратурная амплитудная модуляция

**SNMP (SimpleNetworkManagementProtocol)** - простой протокол управления сетью

**UMTS (UniversalMobileTelecommunicationsSystem)** - универсальнаясистемамаобильнойсвязи). Стандарт сотовой связи третьего поколения

**UPA (UniversalPowerlineAssociation)** - ассоциацияUniversalPowerlin

**USB (UniversalSerialBus)**- универсальная последовательная шина

**VDSL (Veryhighbit-rateDigitalSubscriberLine)** - высокоскоростная цифровая абонентская линия

**VoIP (VoiceoverIP)** – передача речи поверх протокола IP

**Wi-Fi (WirelessFidelity)** - пакет стандартов беспроводной связи IEEE 802.11x

**WiMAX (WorldwideInteroperabilityforMicrowaveAccess)** - технология универсальной беспроводной связи на больших расстояниях для устройств разного класса

**WLAN (WirelessLAN)** - беспроводная локальная сеть

**ЛЭП** - линия электропередачи

**ТП** – трансформаторная подстанция

**АЦП** – аналого-цифровой преобразователь

**ЦАП** – цифро-аналоговый преобразователь

**ГАО** – государственная акционерная компания

**КПП** – комплектная преобразовательная подстанция

**АСКУЭ** – автоматизированная система контроля и учета энергоресурсов

### Приложение 3.

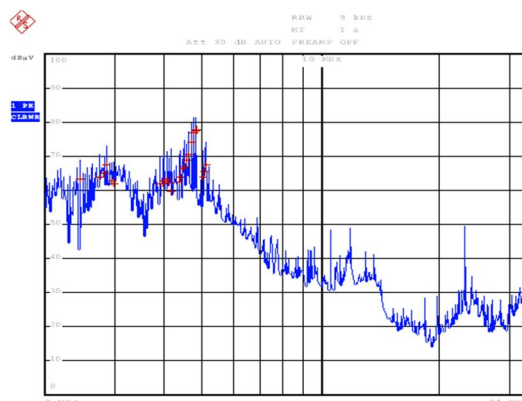


Рисунок 22 - Уровень промышленных радиопомех, измеренных в бытовой розетке комнаты №113

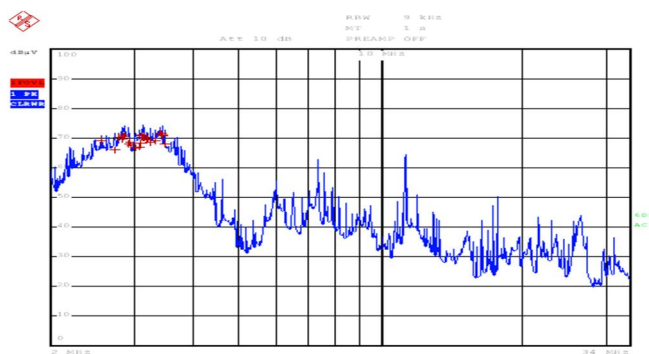


Рисунок 23 - Уровень промышленных радиопомех, измеренных в компьютерной розетке комнаты №113

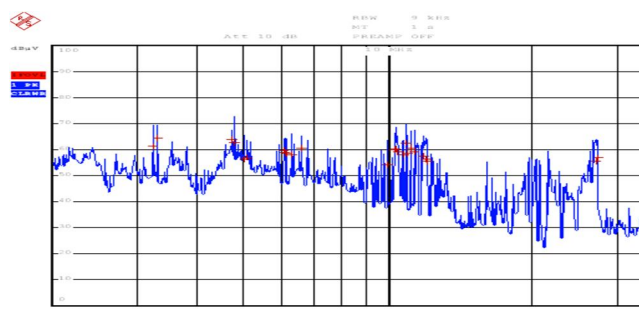


Рисунок 24 - Уровень промышленных радиопомех, измеренных в кондиционерной розетке комнаты №113

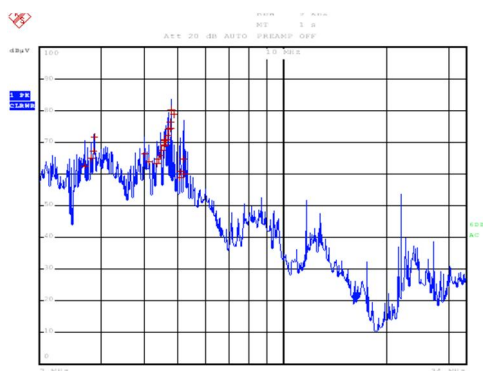


Рисунок 25 - Уровень промышленных радиопомех, измеренных в бытовой розетке комнаты №115

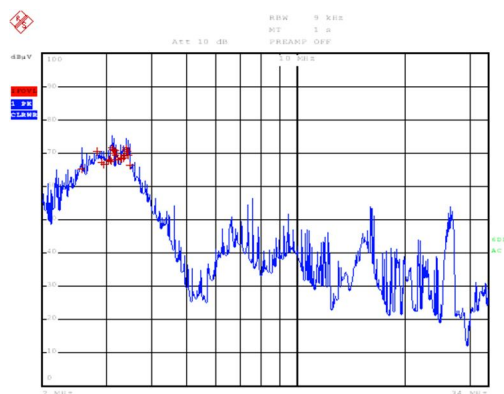


Рисунок 26 - Уровень промышленных радиопомех, измеренных в компьютерной розетке комнаты №115

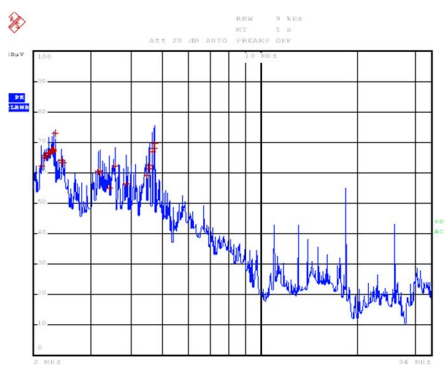


Рисунок 27 - Уровень промышленных радиопомех, измеренных в кондиционерной розетке комнаты № 115



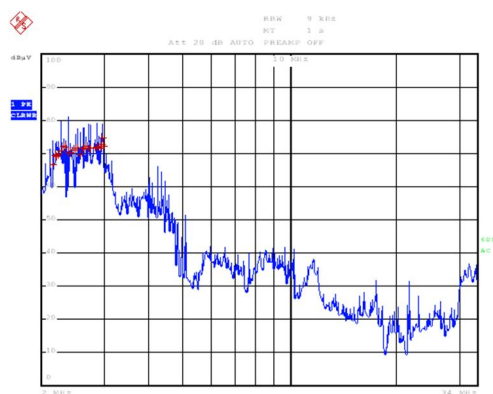


Рисунок 28 - Уровень промышленных радиопомех, измеренных в бытовой розетке комнаты №117

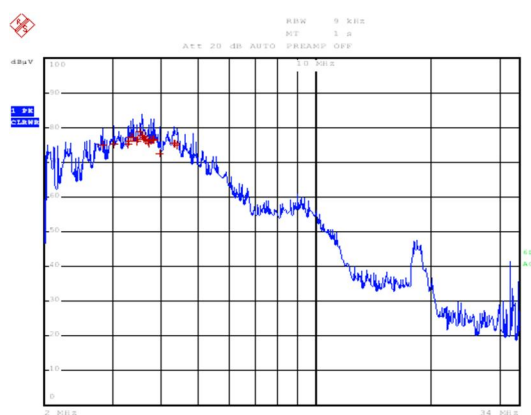


Рисунок 29 - Уровень промышленных радиопомех, измеренных в компьютерной розетке комнаты №117

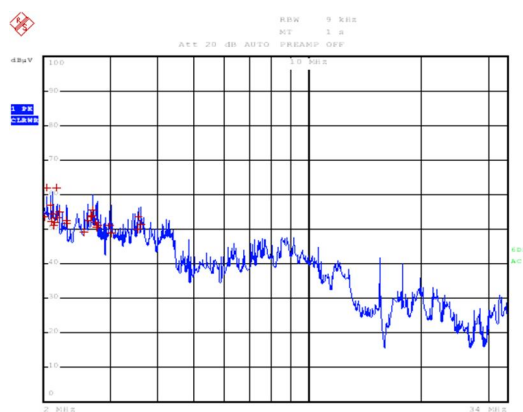


Рисунок 30 - Уровень промышленных радиопомех, измеренных в кондиционерной розетке комнаты № 117

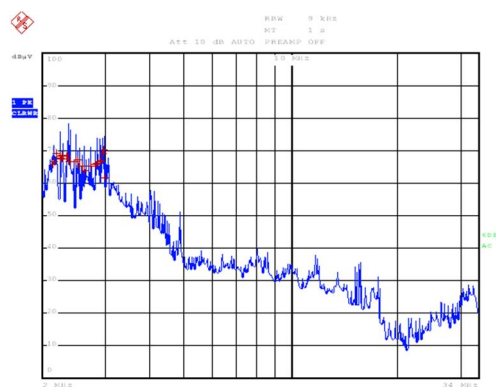


Рисунок 31 - Уровень промышленных радиопомех, измеренных в бытовой розетке комнаты №118

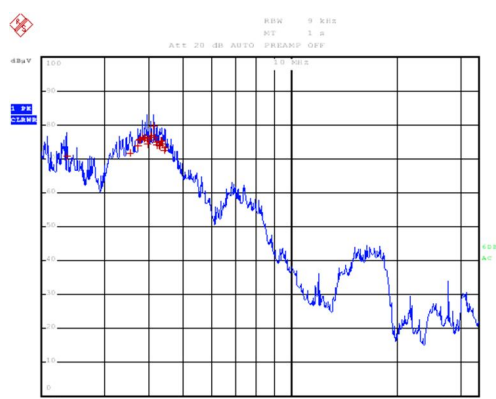


Рисунок 32 - Уровень промышленных радиопомех, измеренных в компьютерной розетке комнаты №118

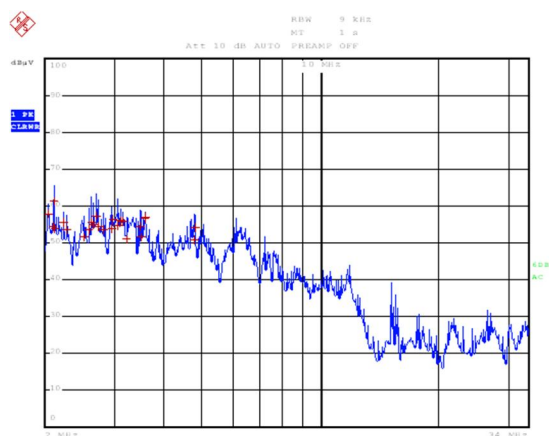


Рисунок 33 - Уровень промышленных радиопомех, измеренных в кондиционерной розетке комнаты №118